

원거리 대용량 데이터 전송을 위한 종단간 전송 성능향상에 대한 연구

정회원 석우진*, 권윤주*, 이길재*, 박재승*

A Study on End-to-End Performance Enhancement for Remote Large Data Transfer

Woojin Seok*, Yunju Kwon*, Giljae Lee*, Jaiseung Kwak* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 고속 데이터 전송을 요구하는 과학기술 어플리케이션들의 특성을 살펴보고, 이러한 어플리케이션들의 종단 간 성능향상을 위하여 필요한 요소로써, 디스크 액세스의 고속화, 전송 프로토콜의 고속화, 광 전용 회선 서비스를 제시하였다. 제시된 성능향상 요소를 만족시킨 테스트베드를 구성하고 성능을 측정하였으며, 한국과 미국 간 최대 4.7 Gbps 의 데이터 전송률을 보여주었다.

Key Words : 과학기술 어플리케이션, 광전용 회선, 종단간 성능향상

ABSTRACT

In this paper, we investigate the features of scientific remote collaborative applications. The presented features are the high speed disk access, the high speed transportation protocol, and the dedicated light path, which are for the high performance of remote end-to-end collaboration. In the environment that satisfies the features, we achieve 4.7Gbps peak throughput between Korea and U.S.A.

Key Words : Scientific application, Dedicated lightpath, End-to-end performance

I. 서 론

광 네트워크 기술의 발전이 고속 네트워크를 요구하던 많은 어플리케이션의 발전에 큰 영향을 미치고 있다. 광 네트워크 기술은 통신 속도를 수십 기가급으로 고속화시키고, 광 패스 할당과 같은 전용 네트워킹 서비스를 가능하게 만들었다. 이러한 고속화 및 전용 서비스 네트워킹 기술을 통하여 기존에는 불가능하였던 많은 고속 어플리케이션들이

활성화되고 있다. 특히 기존의 네트워크 환경으로 구현되지 못했던 국가 간 및 대륙 간 원격 과학기술 분야의 많은 고속 어플리케이션들의 공동 연구를 가능하게 하고 있다.

그림 1은 과학기술 분야의 수많은 고속 어플리케이션들의 실시간 동작 모습을 보여주고 있다. 하나의 연결선은 상호 원격으로 분산되어 있는 장소에서 협력 연구가 이루어짐을 보여준다. 측정된 현재 시각 기준으로 수많은 연구자들이 국가적으로 대륙

* 한국과학기술정보연구원, 고성능연구망사업단, 연구망개발팀 (wjseok@kisti.re.kr)

논문번호 : KICS2006-11-512, 접수일자 : 2006년 11월 25일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 19일



그림 1. 과학기술 원격 협업 연구 (2006년 11월 16일 18:00, 추정 도구: Monalisa)

적으로 분산되어 있지만, 고속의 네트워크를 바탕으로 상호 협력 연구를 수행함을 보여준다.

이러한 과학기술 분야의 고속 어플리케이션들은 미국, 유럽을 중심으로 국가 간 혹은 대륙 간의 협업을 대상으로 하고 있다. 데이터를 저장하는 시스템, 데이터를 수집하는 시스템, 데이터를 계산하는 시스템, 그리고 데이터를 표현하는 시스템 등의 고가의 시스템들이 국가 간 혹은 대륙 간으로 분산되어 있어, 고속의 네트워크 없이는 공동 연구 등이 이루어 질 수 없는 실정이다.

네트워크의 고속화를 위해서 국가별 연구망들이 10 Gbps에서 수십 Gbps로 백본 네트워크를 증속하고 있다. 하지만, 이러한 백본 네트워크의 고속화에도 불구하고, 종단의 실제 사용자들이 획득하는 전송 속도는 수십 Mbps에서 수백 Mbps의 전송 속도 밖에 안 되는 경우가 대부분이다. 본 논문에서는 종단간 성능이 저조한 원인을 분석하고 해결책으로 3가지 성능향상 방안을 제시하고자 한다. 또한 한국과 미국간의 테스트베드 통하여 제시된 성능향상 방안을 적용하여 성능향상 정도를 측정하고자 한다.

2 장에서는, 과학기술 어플리케이션과 그 특성을 살펴보고, 3장에서는 과학기술 어플리케이션의 특성에 대하여 성능향상 방안 3 가지를 제시하고 한국과 미국간의 테스트베드 상에서의 성능향상 정도를 측정하였다. 마지막으로 4 장에서 결론으로 맺으려 한다.

II. 과학기술 고속 어플리케이션 분석

네트워크와 연구 장비들이 발전함에 따라 많은 고속 어플리케이션들이 협업체계를 구축하며 원거리

에서 연구를 진행하고 있다. 이러한 고속 어플리케이션들은 주로 과학기술 분야의 어플리케이션으로써, 단순한 파일 전송 등의 네트워크 사용에 그쳤던 기존의 어플리케이션과는 달리 고속의 네트워크와 실시간 네트워킹 서비스를 필요로 한다^[1].

2.1. 과학기술 어플리케이션들

고에너지물리학은 대형 입자가속기에서 나오는 데이터 분석 및 입자가속기의 실험데이터 분석을 위한 입자 충돌 실험의 몬테-카를로노 시뮬레이션 연구를 하고 있다. 고에너지물리 연구의 경우, 2007년부터 스위스입자물리연구소(CERN)의 입자가속기로부터 발생하는 연간 12~14 Petabyte 규모의 실험 데이터를 국내로 전송하여야 한다. 국내 연구자가 이 데이터를 사용하기 위해서는 고속의 국제연구망을 필요로 하고 있다. 더 나아가 고에너지물리학에서는 국제 공동과제인 UltraLight, TeraPath 등을 통하여 그룹간 광 전용회선을 할당하여 막대한 양의 데이터를 손실 및 지연 없이 전송할 수 있는 네트워크 인프라 구성도 구현 중에 있다^[1].

핵융합에너지(ITER)연구는 K-STAR 핵융합 실험로에서 나오는 진단 데이터 분석, ITER 국제 핵융합 실험로의 원거리 진단 데이터 분석, 핵융합 실험로에서의 현상을 이용하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 분석을 하는 것이다. 핵융합연구의 경우, 데이터 전송량은 2007년 500 Terabyte로 현재의 약 120배 이상이 될 것으로 예측된다. 또한, 데이터 전송 속도도 현재보다 약 15배 이상이 요구될 것으로 예측되고 있어, 향후 ITER 만의 협업연구를 위해서도 고속 네트워크가 필요할 것으로 예상하고 있다^[1].

천문학 분야는 천문 데이터를 전송하기 위한 연구를 주로 하고 있으며, 또한 가상천문대(국내 여러 지역에 흩어져 있는 전파 망원경의 신호를 통합하여 거대한 전파망원경으로 관측하는 것과 같은 효과를 내는 가상천문대)를 구축하여 여러 지역의 전파망원경에서 수집된 천문 데이터를 실시간으로 데이터 통합 기지로 전송 및 분석하는 연구를 하고 있다. 천문 데이터의 경우 그 방대함으로 인하여 기존 데이터 전송 기법과는 다른 고속의 데이터 전송 기법을 개발하여 사용하고 있다^{[1][2]}.

기후 변화 관찰 및 예측을 위한 컴퓨터 시뮬레이션과 기상 장비로부터 얻어진 기상 데이터들의 분석하는 연구 분야로서, 기상예측의 정밀도를 높이기 위해서 시·공간 격자 해상도를 점점 더 높일수록 더 많은 데이터가 생성되며 이에 상응하는 고속의

표 1. 국제연구망(글로리아드) 활용 과학기술 분야 연간 데이터 발생 추정량 (PB:페타바이트)

응용분야	2005년	~ 2010년	~ 2015년	비고
고에너지물리학	0.1~0.5PB	10~30PB	100PB~	대용량 전송
핵융합에너지	0.01~0.5PB	0.2~0.5PB	1PB~	대용량 전송
천문학	0.005PB	0.1~1PB	1PB~	대용량 전송
기후 및 기상과학	0.01~1PB	1PB~	1PB~10PB	대용량전송 및 병렬컴퓨팅
생물정보학 및 의료과학	0.005PB	0.1 ~ 0.5PB	1PB ~	대용량전송 및 원격조정

표 2. 국제연구망(글로리아드) 활용 과학기술 분야 대역폭 요구 추정량

응용분야	2005년	~ 2010년	~ 2015년	비고
고에너지물리학	0.5~2.5Gbps	40~100Gbps	수Tbps	대용량 전송
핵융합에너지	0.1~0.5Gbps	200~500Gbps	수Tbps	대용량 전송
천문학	0.5~2.5Gbps	10Gbps	1Tbps	대용량 전송
기상천문대	0.5Gbps	10Gbps	1Tbps	대용량 전송
기후 및 기상과학	1Gbps	5~10Gbps	100Gbps~	대용량전송 및 병렬컴퓨팅
생물정보학 및 의료과학	0.6Gbps	5~10Gbps	10~100Gbps	대용량 전송 및 원격조정

네트워크 전송 속도가 요구되고 있다¹¹⁾.

염기서열 데이터, 단백질의 아미노산 서열 데이터, 단백질 구조와 관련된 X-선 회절 데이터 및 관련 메타 데이터들의 데이터베이스화, 임상 이미지 데이터의 저장 및 열람, 그리고 이미지 데이터를 질병 진단에 활용하는 분야로써, 의료 데이터와 의료 영상 이미지 전송을 위하여 고속의 네트워크가 요구되고 있다¹¹⁾.

고속의 네트워크를 기반으로, 분산된 시스템에서 데이터를 획득하고 그 획득된 데이터의 분석을 위해서 원거리의 다른 시스템으로 전송 및 분석하고 그 결과 데이터를 다시 네트워크로 전송 하는 분산 컴퓨팅에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 미국 노텔에서는 분산컴퓨팅을 위한 실시간 분산 컴퓨팅의 미들웨어를 개발하여 데이터 수집과 분석을 원거리 상에서 실시간으로 가능하도록 하는 연구를 진행하고 있으며 이러한 어플리케이션을 위하여 고속의 네트워크를 요구하고 있다.

2.2. 과학기술 어플리케이션의 특성 분석

표 1과 표 2와 같이 첨단 과학 어플리케이션의 발전은 네트워크 기술의 발전을 필요로 하고 있다. 첨단 과학 어플리케이션의 경우, 실시간으로 원격에 있는 공동 연구자들과 연구를 해야 하므로 서로 간에 전달되어야 하는 데이터양도 많아지며 그에 따라 데이터 전송 속도가 중요해지고 있다. 현재 세계 연구망의 네트워크 대역폭은 10 Gbps에서 100 Gbps 정도의 매우 높은 대역폭으로 변모하고 있다.

표 3. 미국에 연동된 국제연구망 현황

국가간	네트워크 속도
미국↔캐나다	30Gbps
미국↔네덜란드	40Gbps
미국↔영국	10Gbps
미국↔유럽	100Gbps
미국↔일본	35Gbps

고에너지물리 분야, 천문학 분야 등에서 연구 협업 체계를 갖추기 위해 요구되는 대역폭이 이미 10 Gbps를 넘어가고 있기 때문에 우리나라뿐만 아니라 이러한 연구의 중요성을 인지하는 나라들에서는 연구망을 급속히 증속하고 있다. 첨단 과학기술 어플리케이션에는 향후 4년 이내에 지금보다 50배의 데이터 량 및 네트워크 전송속도를 요구하고 있다¹¹⁾.

2.3. 어플리케이션의 중단간 성능 분석

과학기술 어플리케이션을 위한 고속의 네트워크는 각 국가별로 구축 운영되고 있다. 이러한 용도로 현재 국내에서 운용중인 연구망으로는 초고속연구망(KREONET)과 광대역통합연구개발망(KOREN)이 있고, 해외망은 GLORIAD(Global Ring Network for Advanced Development), APII(Asia Pacific Information Infrastructure) 등이 있다. 국내 백본망 속도는 2.5 Gbps~20 Gbps 이며, 액세스망 속도는 45 Mbps~10 Gbps 이다. 국제 게이트웨이 속도는 155 Mbps~10 Gbps 이다.

국제 연구망은, 북미 및 유럽의 선진국들은 첨단

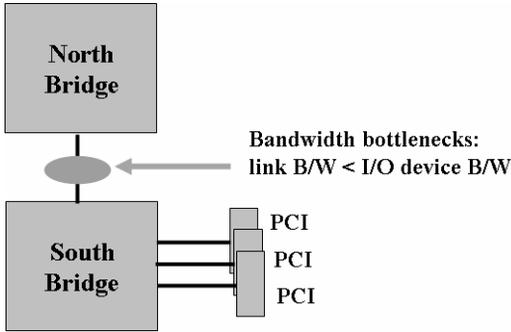


그림 2. PCI 병목현상 ([5]에서 그림 인용)

과학기술 분야의 어플리케이션을 지원하기 위해 기가급 이상의 광 네트워킹 기반 국가 연구망을 구축하고, 연구 개발자들이 국제 협업연구를 가능케 할 목적으로 국제간 국가 연구망 연동을 경쟁적으로 추진하고 있다. StarLight(미국), CA*net4(캐나다), UKLight(영국), NetherLight(네덜란드), NorthernLight(북유럽) 등 각 국가 연구망들은 미국 StarLight, IRNC 프로그램 등을 통해 대륙 간 국가 간 연동을 개별적으로 추진하고 있다 (표 3 참조)^[1].

하지만, 10 Gbps 에서 수십 Gbps 의 고속의 백본 네트워크가 구성되어 있음에도 종단간의 실제 사용자들이 획득하는 전송 속도는 수십 Mbps 에서 수백 Mbps 정도에 이르는 경우가 많다. 이러한 원인은 아래에 열거하는 고속의 과학기술 어플리케이션의 3가지 특성과 이로 인한, 디스크 액세스에 대한 병목현상, 전송 프로토콜에 의한 병목현상, 그리고 전송 경로상의 다른 트래픽들에 의한 혼잡으로 인한 병목현상으로 판단된다.

과학기술 어플리케이션들은 데이터의 전송이 주목적이며 이를 위한 고속의 디스크 액세스가 필요하다. 과학기술 어플리케이션들은 주로 원거리 상의 과학기술 데이터의 전송을 수행한다. 물리 데이터, 천문 데이터, 기상 데이터, 고화질의 의료 영상 이미지 등 과학기술 어플리케이션들은 대용량 데이터 전송을 수반하게 되며, 실시간의 분산컴퓨팅도 요구하고 있다^{[1][2]}. 대용량의 데이터를 네트워크를 통하여 원거리로 전송하고자 할 경우, 데이터를 전송하는 시스템 자체에 병목현상이 발생할 수 있다. 그림 2에서 보듯이, 데이터를 전송하기 위한 네트워크 디바이스와 디스크 데이터를 액세스하기 위한 디스크 디바이스를 위한 외부 제어 장치(PCI)에 병목현상이 발생할 수 있다^[5]. PCI를 통하여 전송되는 데이터가 시스템 내의 버스인 South Bridge 와 North

Bridger로 전달되는데, 이들 버스상의 대역이 PCI를 사용하는 대역보다 작을 경우, 병목현상이 발생하게 된다. 고속의 디스크 액세스를 위해서는 이러한 병목현상을 제거하여야 한다.

- 고속 데이터 전송을 위하여 고속의 TCP 프로토콜이 필요하다. 과학기술 어플리케이션의 데이터 전송은 주로 TCP 프로토콜을 이용한다^[3]. 어플리케이션의 특성에 맞게 [4]와 [6]처럼 전송 프로토콜을 맞춤형으로 개발되는 경우도 있지만, 대다수의 경우 TCP 프로토콜을 사용한다. TCP 프로토콜은 고속의 원거리 네트워크에서 성능이 크게 떨어지는 특성을 가지고 있다^[7]. 이를 위해서 고속의 원거리 네트워크에 적합한 고속 TCP 가 제안되고 있다.
- 다른 트래픽과의 경쟁을 원하지 않는 타입의 트래픽이다. 그림 3처럼, A 영역의 사용자는 낮은 대역의 전자메일, 웹 브라우징과 같은 인터넷 액세스를 사용하고, B 영역의 사용자는 가상사설망(VPN) 혹은 많은 업 링크 등을 사용하고, C 영역의 사용자는 적은 수의 네트워크 연결로써 고대역의 네트워크를 사용한다. 과학기술 고속 어플리케이션의 경우는 C 영역의 사용자에게 해당한다. 이러한 C 영역의 사용자들은 고대역의 네트워크를 사용하기 때문에 다른 트래픽과의 경쟁으로 대역 손실을 회피하고자 한다^[8]. 이러한 사용자들을 위해서 다양한 전용회선 네트워크 기술이 연구되어 왔다. 최근에는 광 전용회선 연구가 진행 중이며, 실제 국제간 네트워크에 적용이 되고 있다.

본 논문에서는 고속 어플리케이션의 성능저하 요인으로 3가지를 제시하였으며, 이에 대한 해결책으로 3가지의 성능향상 방안을 제안하고자 한다. 제안하는 3 가지 성능향상 방안은 각각 기존에 독립적으로 연구되어 온 기술이며, 본 논문에서 새롭게 제안하거나 개발한 내용은 아니다. 본 논문에서는 이러한 3 가지의 성능향상 방안을 사용하여야 고속 어플리케이션에 대한 종단간 전송 성능향상을 가져올 수 있음을 실험을 통하여 보여주고자 한다.

III. 고속 전송을 위한 성능향상 방안

본 장에서는 종단간 성능을 저해하는 원인으로 제시된 3 가지 성능향상 요소에 대한 각 해결책을 제시하고자 한다. 또한 제시된 성능향상 방안들에

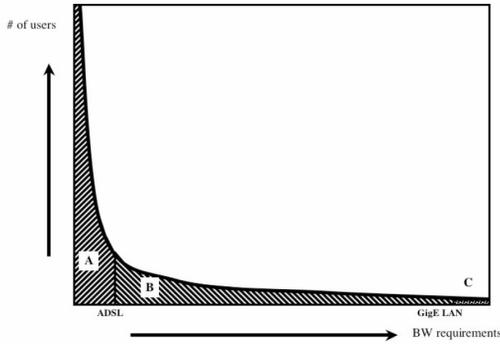


그림 3. 네트워크 연결 타입과 사용 대역에 따른 사용자 구분([8] 에서 그림 인용)

대해서 한국과 미국간의 테스트베드 상에서 대용량 데이터를 전송시켜 향상되는 성능의 정도를 측정하고자 한다. 3.1 절에서는 성능향상 방안 3가지를 제시하였고, 3.2 절에서는 테스트베드 상에서의 실험을 통하여 성능향상 결과를 도출하고 분석하였다.

3.1. 성능향상 방안 제시: 고속의 디스크 액세스, FAST TCP, 광 전용회선 서비스

PCI 버스 상에서의 병목현상을 방지하기 위해서, AMD 시스템은 버스의 구성방식에서 향상된 방식을 제공하고 있다⁵⁾. 예를 들면, 인텔 7525 칩셋을 사용하는 인텔 Xeon 시스템의 경우, PCI 버스 속도는 133 Mhz로써 이론 성능상 8 Gbps 성능이 나오지만, 디스크 액세스와 네트워크 액세스를 동시에 할 경우 1.5 Gbps 정도의 성능밖에 나오지 않는다. PCI 버스 상에서의 병목현상이 발생하였기 때문이다. 그림 4의 AMD 시스템은 각 PCI 버스가 독립적으로 133 Mhz를 지원하므로 PCI 버스 상에서 병목현상을 발생하지 않는다. 그림 4는 10 Gbps 성능의 네트워크 카드와 2 Terabyte 용량의 레이드 디스크를 장착한 것을 보여주는 것으로, 8 Gbps 속도로 디스크 데이터를 네트워크를 통하여 전송하는 것이 가능하다. 그래서 고속의 과학기술 어플리케이션을 수행하기 위해서는 그림 4와 같이 고속의 네트워크와 디스크 액세스 속도를 동시에 제공해 줄 수 있는 시스템을 사용하여야 한다.

과학기술 어플리케이션들은 패킷 손실에 덜 민감한 음성 데이터 등의 멀티미디어 데이터 전송보다는 패킷 손실에 아주 민감한 데이터 전송이 대부분이다. 그래서 전송 프로토콜로써 TCP를 기반으로 하고 있다. TCP 프로토콜 자체를 고속화하기 위하여 많은 고성능 TCP들이 제안되어 왔지만, 원거리



그림 4. AMD 시스템(10 기가급 네트워크 장치(상단), 레이드 디스크 제어장치(하단))

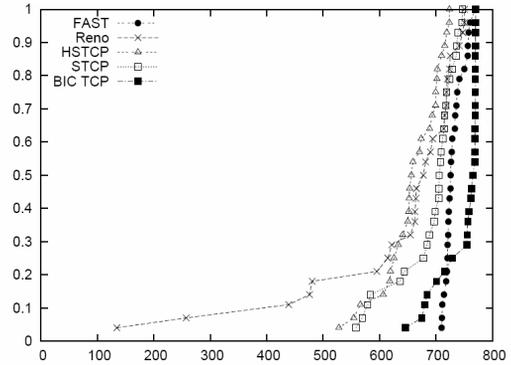


그림 5. 여러 TCP 들의 성능 비교 (X축: 전송률, Y축: CDF(Cumulative Distribution Function), 1 Gbps 대역의 네트워크에서 실험, [6]에서 그림 인용)

상에서 대용량 데이터전송을 위해서는 FAST TCP와 BIC TCP가 많이 이용되고 있다⁶⁾⁷⁾. 그림 5는 고속의 원거리 상에서의 TCP 성능을 보여주고 있다. BIC TCP와 FAST TCP의 경우 다른 TCP 보다 훨씬 높은 전송률을 보여준다⁶⁾. BIC TCP와 FAST TCP의 경우, 제공하는 대역의 70% 이상의 전송률을 보여주고 있다. TCP 전송에 있어서 그 성능 극대화하기 위하여 네트워크 튜닝이 추가로 요구된다. 네트워크 튜닝 중에서도 전송 성능에 큰 영향을 미치는 것은 MTU(Maximum Transfer Unit)이다. MTU란 2 계층에서 지원하는 프레임 크기로서 전송시스템에서 한 번에 캡슐화할 수 있는 데이터 크기이다. MTU가 큰 경우, CPU 인터럽트가 감소하고 처리할 패킷 수가 감소하므로, 전체적으로는 CPU 사용률은 감소하며 전송 효율은 증가한다. MTU는 2 계층 매체마다 다르며, MTU가 클수록

더 높은 네트워크 성능을 낼 수 있으므로 MTU가 큰 패체를 이용하는 것이 성능향상을 위해 효과적이다. 하지만, 단편화가 발생하게 되면 그 오버헤드에 의해 성능 손실을 가져올 수 있기 때문에 중간 단계에서 단편화가 일어나지 않을 크기로 MTU를 설정하는 것이 중요하다^[9].

다른 트래픽과의 경쟁으로 대역 손실을 회피하는 것을 가능하도록 여러 네트워크 기술들이 제공되어 왔다^{[10][11]}. 이러한 여러 기술들이 광통신 시대의 고속 네트워크에 맞추어 새로운 기술들이 나타나기 시작하였다. 그 중에서 전용 광 회선을 통하여 전용 회선을 사용자에게 제공하는 기술이 국제간 원거리 과학기술 어플리케이션에서 많이 사용되고 있다^{[12][13]}. 전용 광회선 기술을 사용하면, 중단간 설정된 광회선 상에서, 설정된 대역만큼 보장받게 되며 다른 사용자의 다른 트래픽이 유입될 수 없다. 수 기가급의 전용광 회선을 설정하면 중단간 수 기가급의 네트워크 대역을 전용으로 할당하기 때문에 사용자는 할당 받은 수 기가급의 네트워크 대역을 모두 사용할 수 있으며, 설정된 광 회선이 해제 될 때까지 안정되고 간섭받지 않는 네트워크를 사용할 수 있게 된다.

3.2. 제안된 성능향상 방안 검증

제안된 성능향상 방안을 검증하기 위하여, 한국과 미국간 테스트베드를 설치하고 중단간 전송 실험을 실시하였다. 한국과 미국간 글로리아드 국제연구망을 사용하였으며 한국 내에서는 테스트 시스템을 글로리아드 백본망에 직접 연결하였으며, 미국 내에서는 Abilene 네트워크를 거쳐서 직접 시스템에 연결하였다. 자세한 네트워크 연결 구성도는 그림 6은 같으며 제공되는 중단간 네트워크 속도는 10 Gbps 이다. 대상이 되는 어플리케이션은 물리데이터 전송이며, 물리데이터는 고에너지 물리학 분야에서 분석대상이 되는 디스크 파일 형태의 대용량의 데이터이다.

대용량의 디스크 데이터 전송의 성능을 극대화하기 위하여, 제안된 3가지 해결책을 적용하였다. 고속의 디스크 액세스를 위하여 PCI 병목 현상을 제거할 목적으로 AMD 시스템을 사용하였다. 사용된 AMD 시스템은 독립적인 133Mhz PCI 성능을 제공해 주어 PCI 병목현상에 의한 디스크 액세스 성능 저하를 줄일 수 있는 시스템이다. TCP 병목현상을 해결하기 위하여, FAST TCP가 동작하도록 설치하였으며, 다른 트래픽 유입을 방지하기 위하여

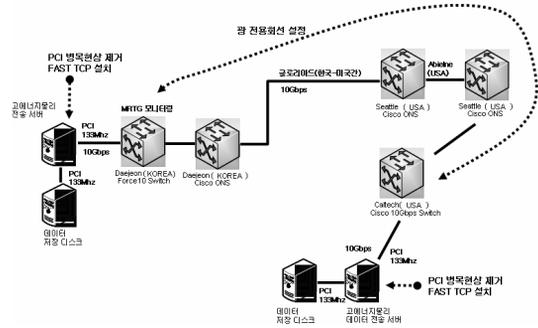


그림 6. 테스트베드 구성도

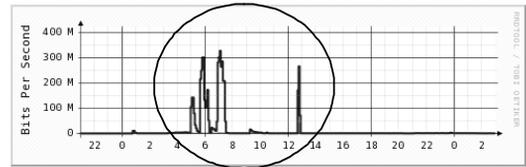


그림 7. 성능향상 요소를 사용하지 않은 경우 (순간 최대 약 330 Mbps)

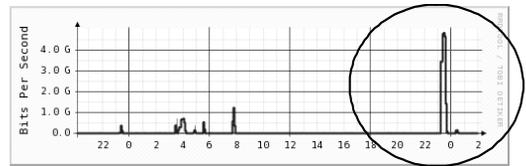


그림 8. 성능향상 요소를 3가지 모두 사용하였을 경우 (순간 최대 약 4.7 Gbps)

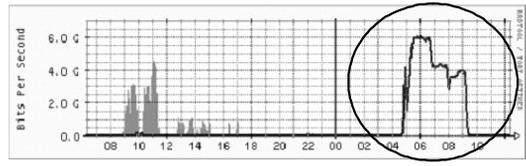


그림 9. 성능향상 요소를 3가지 모두 사용하였을 경우 (메모리 전송, 순간 최대 약 6 Gbps)

광 전용회선 네트워킹 서비스를 적용하였다. 전송률을 측정하기 위해서 대전 구간의 전송장비에 MRTG 모니터링 도구를 사용하여 측정하였다.

제시된 3 가지의 성능향상 요소 중 2가지 성능향상 방안(FAST TCP와 전용 광회선 설정)을 사용하지 않은 상태에서 전송률을 먼저 측정하였다 (그림 7). 고속 디스크 액세스 방안은 테스트에 사용되는 시스템에 하드웨어적으로 구현되어 있어서 제거하고 실험을 할 수가 없었다. 그리고 제시된 3가지 성능

향상 요소를 모두 사용한 상태에서의 전송률을 측정하였다 (그림 8). 전송하는 데이터의 크기는 수 Terabyte 크기이며, 일정 전송률을 측정하고 난 후에 전송을 강제로 종료시켰다.

$$\frac{1}{RTT} \sqrt{\frac{3}{2bp}} \quad (1)$$

(RTT: 전송지연시간, p: 패킷손실율, b: 상수)

그림 7은 제시된 3 가지의 성능향상 요소 중 FAST TCP 와 광 전용회선 설정을 사용하지 않은 상태에서 전송률을 측정한 것이다. 전송 프로토콜로는 기존에 사용되는 TCP-Reno를 사용하였고, 다른 트래픽의 유입을 방지하지 않았기 때문에 한국과 미국간의 일반 트래픽과 전송매체를 공유하게 된다. 다른 트래픽의 유입량은 약 200 Mbps 정도로 측정되었다. 총 4 번의 전송을 시도하였으며 일정시간 이후 전송을 강제로 종료시켰다.

그림 7의 결과에서 보듯이, 순간 최대로 약 330 Mbps 의 전송률을 보여주었다. TCP 전송 프로토콜의 병목현상이 성능저하의 주원인으로 분석된다. TCP의 평균전송률은 식 (1)처럼 표현된다. RTT (Round Trip Time: 전송지연시간) 값이 클수록 전송률이 감소한다^[4]. 그 이유는, 데이터를 전송하고 그 데이터가 잘 도착하였음을 의미하는 ACK (ACKnowledge) 신호를 받음으로써 점점 전송률을 높여가면서 전송하게 되는데, 한국과 미국간의 거리상으로 RTT가 상당히 커서 전송률을 높여가는 정도가 아주 약하기 때문이다. 이러한 이유로, 제공되는 중단간의 대역을 충분히 사용하지 못하는 현상을 발생시킨다. 또한 다른 트래픽의 유입으로 데이터 전송상의 손실이 발생하며, 이로 인하여 TCP CWND (Congestion Window) 값이 절반으로 줄어들게 되며, 이를 다시 회복하는데 있어 전송효율을 떨어뜨리게 되는 문제점을 발생하게 된다.

그림 8은 제시된 3가지 성능향상 요소를 모두 사용하였을 경우에 전송률을 측정한 것이다. PCI 병목 현상이 없는 상태에서, FAST TCP를 동작시켰으며, 다른 트래픽 유입을 방지하기 위해서 광 전용회선을 설정하였다. 그림 8에서 보듯이, 순간 최대 약 4.7 Gbps의 전송률을 보여주었다. 중단간 가용 대역폭이 10 Gbps 이므로, 약 47% 대역사용률을 보여주었다. 그림 9는 디스크 데이터 전송이 아닌, 메모리 데이터 전송을 테스트 한 것이다. 메모리 데이터 전송을 테스트하기 위해서 iperf 프로그램을

이용하여 패킷 데이터를 프로그램 상에서 생성하여 전송하였다. 이럴 경우, 디스크를 액세스 하지 않기 때문에, 디스크 액세스에 의한 병목현상이 없는 상태에서의 전송률을 테스트할 수 있다. 그림 9의 결과로 보듯이 순간 최대 약 6 Gbps 전송률을 보여주었다. 그림 8과 그림 9의 결과로써, 그림 8에서 보인 4.7 Gbps는 디스크 액세스로 인한 병목현상으로 추정된다. 이러한 병목현상은 하드웨어적인 저하 요인으로 구분된다. 결론적으로, 3가지 성능향상 방안을 모두 적용한 결과 그렇지 않은 결과보다 약 15 배 정도의 성능향상을 가져왔다.

IV. 결론

네트워크의 고속화 및 기술의 발전으로 과학기술 어플리케이션을 통한 국제간 협업연구가 활성화되고 있다. 본 논문에서는 과학기술 어플리케이션을 수행하기 위한 네트워크의 환경이 무엇이며, 그러한 네트워크 환경을 구축하기 위한 기술적 요소를 분석하였다. 본 논문에서는 디스크 액세스의 고속화, 전송 프로토콜의 고속화, 그리고 전용 네트워킹 서비스 제공과 과학기술의 고속 어플리케이션에 대한 필요한 사항임을 제시하였다. 제시한 성능향상 요소에 대한성능향상 방안을 검증하기 위하여, 한국과 미국간 테스트베드를 구축하고 제시한 3 가지요소를 충족시킨 환경에서, 물리데이터의 전송 테스트를 실시하였으며, 순간 최대 4.7 Gbps 전송률을 보여주었다. 이는 3 가지 요소를 모두 충족하지 않은 상황보다 약 15배 향상된 성능이었다. 국제간 원격 과학기술 어플리케이션은 이러한 성능향상 방안을 고려한 협업 환경 구성이 필수적이라고 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] 한국과학기술정보연구원, “글로벌 과학기술협업연구망 발전방안 연구,” 글로벌 과학기술협업연구망(GLORIAD) 구축사업 연구보고서, 2005.
- [2] R.L.Grossman *et al.*, “Data mining middleware for wide-area high-performance networks,” *Future Generation Computer Systems*, pp. 940-948, May 2006.
- [3] 이길재, 권윤주, 석우진, 박재승, “글로벌 과학기술협업연구망 모니터링 시스템 데이터가시화 연구,” 한국정보과학회 추계학술대회, 2006.
- [4] Yoonju Kwon *et al.*, “A Hybrid Transport

Protocol for High Speed Data Transferring in Long Fat Network”, in Proc. Chinacom 2006, October 2006.

[5] 황영환, “AMD 64 기술,” Oracle Korea Magazine 2004 Summer, 2004.

[6] D.X.Wei *et al.*, “FAST TCP: motivation, architecture, algorithms, performance,” IEEE/ACM Transactions on Networking. 2007. (To be appeared).

[7] Lisong Xu *et al.*, “Binary Increase Congestion Control for Fast Long-Distance Networks,” INFOCOM, 2004.

[8] Cees de Laat *et al.*, “The Rationale of the Current Optical Networking Initiatives,” iGrid2002 special issue, Future Generation Computer Systems, volume 19 issue 6, 2003.

[9] J. Mogul *et al.*, “Path MTU discovery,” RFC 1191, November 1990.

[10] K.Nichols *et al.*, “An Architecture for Differentiated Services,” RFC 2475, December 1998.

[11] R.Braden *et al.*, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview,” RFC 1633, June 1994.

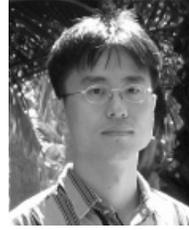
[12] C.Heermann *et al.*, “CANARIE /GEANT/ Internet2 Lightpath Demonstration,” CANARIE /GEANT/Internet2 Lightpath Workshop, March 2004.

[13] J.Sobieski *et al.*, “Dynamic provisioning of lightpath services for radio astronomy applications,” Future Generation Computer Systems, volume. 22, issue 8, pp. 984~992, October 2006.

[14] Jitendra Padhye, Victor Firoiu, Don Towsley, and Jim Kurose, “Modeling TCP Throughput: A Simple Model and its Empirical Validation,” Sigcomm 98, 1998.

석 우 진 (Woojin Seok)

정회원



1996년 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
 2003년 Univ. North Carolina, Computer Science 석사
 2003년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
 <관심분야> 무선/이동 QoS, TCP 성능 분석

권 윤 주 (Yunju Kwon)

정회원



2000년 성균관대학교 컴퓨터공학과 학사
 2002년 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사
 2003년~현재 한국과학기술정보연구원 연구원
 <관심분야> LFN(Long Fat Network)에서의 TCP 성능향상, 트래픽 모니터링/측정/분석 등

이 길 재 (Giljae Lee)

정회원



2001년 인하대학교 컴퓨터 공학과 학사
 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사
 2003년~현재 한국과학기술정보연구원 연구원
 <관심분야> 센서네트워크, TCP, 네트워크 모니터링

곽 재 승 (Jaiseung Kwak)

정회원



1995년 전남대학교 산업공학과 석사
 1999년 전남대학교 산업공학과 박사
 2000년~현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원
 <관심분야> 정보통신공학, 광통신 공학