

단대단 네트워크 성능 측정 도구의 동향 분석

김종명*, 정성민*, 한영주**, 권윤주***, 곽재승***, 정태명****

*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

**성균관대학교 컴퓨터공학과

***한국과학기술정보연구원 고성능연구망사업단 연구망개발팀

****성균관대학교 정보통신공학부

e-mail : {jmkim, smjung, yjhan}@imtl.skku.ac.kr, { yulli, jskwak}@kisti.re.kr,
tmchung@ece.skku.ac.kr

Analysis of End-to-End Network Performance Measurement Tools

Jong-Myoung Kim*, Sung-Min Jung*, Young-Ju Han**, Yoonjoo Kwon***,
Jaiseung Kwak****, Tai-Myoung Chung****

*Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

**Dept. of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

***HPcN Project Div, HPcN Development Team,

Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)

**** School of Information Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

최근 대용량 데이터 전송을 요구하는 과학기술 응용에 대한 사용량이 증대 되고 차세대 인터넷에 대한 관심과 지원이 점차 확대되고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해 고성능 망에서의 단대단 네트워크 성능 측정 및 진단기술이 중요시 되고 있다. 본 논문에서는 현재 존재하는 단대단 망 성능 측정 도구들을 분석하고 각 도구들의 특징을 살펴본 후 현존하는 측정 도구들의 한계점에 대해 살펴본다. 또한 이러한 분석을 바탕으로 앞으로 단대단 망 성능 측정 기술이 나아가야 할 방향에 대해 모색한다.

1. 서론

최근 네트워크의 성능에 있어서 고속화가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 이러한 물리적인 네트워크의 고속화에 비해 낮은 대역폭에 최적화 되어 있는 TCP와 같은 호스트 시스템 소프트웨어와 고성능 네트워크의 성능을 측정하고 진단하기 위한 도구의 부족으로 인해 네트워크의 성능을 충분히 활용하지 못하고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해, 고성능 네트워크에 적합한 전송 알고리즘 및 정확한 성능 측정 기술에 대한 연구가 필요하다. 특히 정확한 성능 측정 기술은 새로운 전송 알고리즘을 평가하기 위한 중요

한 기준이 되며, 최근 대용량 데이터 전송을 요구하는 인터넷 환경을 고려할 때, 단대단 고속망 성능 측정 및 진단 기술의 연구는 필수적이다.

본 논문에서는 대표적인 단대단 성능 측정 도구들을 살펴보고 이를 분석하여 그 한계점을 살펴보고 이를 극복하기 위한 방향을 제시한다. 이를 위해 2 장에서는 대표적인 단대단 성능 측정 도구들을 살펴보고 3 장에서는 측정 도구들을 측정 방법에 따라 분류하고 특징을 알아본다. 4 장에서는 측정 도구들의 전반적인 한계점을 분석한 후 5 장에서 한계점을 극복하기 위한 방향에 대해 살펴본다. 마지막으로 6 장에서

는 본 논문을 마무리 짓고 향후 연구에 대해 논의할 것이다.

2. 대표적인 측정 도구

2.1. Pathchar

Pathchar[2]는 source 와 destination 사이의 모든 홉의 대역폭(bandwidth), 지연(delay), 평균 큐 지연(average queue delay) 그리고 손실률(loss rate)을 측정하는 도구이다. ICMP 프로토콜의 Time Exceeded response 패킷을 이용하여 각각의 홉에 다양한 크기의 UDP 패킷을 연속적으로 전송하면서 초기 홉 정보와 측정된 RTT(Round Trip Time)값을 이용하여 destination 까지 순차적으로 연결된 경로(path)를 따라 원하는 값을 측정한다. 측정 결과는 GUI(Graphic User Interface)의 형태로 보여진다.

2.2. Sprobe

Sprobe[3]는 병목 링크 대역폭(bottleneck link bandwidth)을 측정하는 도구이다. 병목 링크 대역폭이란 두 호스트 사이에서 가장 느린 링크의 용량(capacity)를 말한다. 특히 비대칭적인 네트워크 경로(asymmetric network path)에서 빠르고 정확하게 동작하며 네트워크의 대역폭의 변화에 유연하게 대처하는 특징을 가진다. Upstream 과 downstream 이 서로 다른 경로를 이용하기 때문에 각기 다른 측정 방법을 이용한다. Downstream 에서 sprobe 는 목적 호스트의 열려 있지 않은 포트에 1460byte 의 데이터가 첨부된 두 개의 SYN 패킷을 전송한다. 포트가 닫혀있기 때문에 목적 호스트는 40byte 크기의 두 개의 RST 패킷을 전송하게 된다. 이때 패킷쌍 기술(packet-pair technique)를 이용하여 병목 링크 대역폭을 측정할 수 있다. Upstream 의 경우 패킷쌍 기술을 이용하기 위해 수신 윈도우(receiver window) 크기를 조절하여 downstream 과 마찬가지로 패킷쌍을 생성 병목 링크 대역폭을 측정하게 된다.

2.3. Nettimer

Nettimer[8]는 libdpcap 을 통해 데이터를 수집하고 packet pair 기술을 통해 이를 분석하여 단대단 병목 대역폭을 측정하는 도구이다. Packet pair 기술이란 동일한 source 와 destination 을 자지는 같은 크기의 두 개의 패킷이 도착하는 시간의 차이를 예측할 수 있다는 FIFO-Queueing 네트워크의 Packet pair property 를 이용한 기술이다.

2.4. Pathload

전송 호스트로부터 수신 호스트까지의 단대단 경로에서 가용 대역폭을 측정하기 위한 도구이다. Pathload[4]에 사용된 알고리즘은 SLoPS 에 바탕을 두고 있다. UDP 패킷의 전송률이 대역폭 보다 높을 경우 단방향패킷딜레이가 증가하는 경향을 가지고 낮을 경우 감소하는 경향을 가진다는 점을 통해 가용 대역폭을 측정하고 있다. 이 때 복수개의 UDP 스트림을

통해 정확성을 높이고 있다.

2.5. Pathrate

인터넷 경로의 용량(capacity)을 측정하는 도구이다. Pathrate 는 UDP 패킷쌍(packet-pair)과 패킷열(packet-train)을 이용하여 확률적인 방법을 통해 경로 중 가장 좁은 링크의 용량을 구한다. 즉 가능성 있는 용량을 구하기 위해 다양한 크기를 가지는 많은 양의 패킷쌍들을 전송하는 방법을 이용한다. Pathrate[5]의 가장 큰 특징은 네트워크의 다른 트래픽의 영향을 거의 받지 않는다는 점이다.

2.6. TReno

TReno[6]는 인터넷 경로상에서 단일 스트림 대용량 전송 용량(single stream bulk transfer capacity)을 측정하는 도구이다. Traceroute 와 동일하게 ICMP ECHO 패킷과 ICMP TTL Exceeded 메시지를 유도하는 작은 TTL 값을 가지는 UDP 패킷을 이용하여 측정한다. 각 패킷은 응답 패킷을 통해 반송될 순서 번호(sequence number)를 가지고 각 반송되는 ICMP TTL Exceeded 메시지를 Reno TCP 의 ACK 패킷과 동일하게 가정함으로써 TCP 를 흉내 내어 전송률을 측정한다. Reno TCP 의 congestion control 메커니즘을 흉내 내며 congestion window 를 네트워크에 존재하는 패킷의 양을 측정하는데 사용한다.

2.7. Netest

Netest[9]는 UDP, 단일 TCP 스트림, 병행 TCP 스트림에 있어서 Maximum Burst Size, Available Bandwidth 그리고 Achievable Throughput 을 측정할 수 있다. Maximum Burst Size 란 하나의 라우터에서 패킷 드랍 없이 감당할 수 있는 최대 바이트 크기이며 라우터의 큐의 사이즈와 현재 라우터를 경유하는 트래픽의 상황에 따라 결정된다. Available Bandwidth 란 capacity 에서 링크나 경로에서 다른 트래픽으로 인해 현재 소모되고 있는 사용량(utilization)을 뺀 값을 뜻하며 Achievable Throughput 은 두 양 끝 단말장치에서 어플리케이션이 달성할 수 있는 전송률을 뜻한다. Netest 는 기본적으로 네트워크의 문제 분석과 진단을 위해 디자인되었다. 만약 가용 대역폭을 사용하지 못한다면 병목현상(bottleneck)이 일어난 곳을 보고하는 방식을 취한다. 기본적으로 UDP 를 통한 패킷쌍 방식을 이용한다.

2.8. Web100

Web100[7] 프로젝트는 구체적으로 TCP 를 위한 향상된 관리 인터페이스 개발을 목표로 한다. TCP 에 대한 다양한 값들을 기록해 전반적인 TCP 의 성능을 측정할 수 있다. 특히 여러 TCP 의 확장 버전들을 제어할 수 있는 수단을 제공하고 있으며 이것을 통해 간단하게 실험적인 TCP 알고리즘을 실험할 수 있는 기능을 제공한다. 일반적인 TCP 확장 버전들은 구현이 되어 있다. TCP 가 패킷을 전송하고 수신받는 ACK 을

통해 성능을 측정한다.

<표 1>은 단대단 성능 측정 도구들의 측정 메트릭과 특징을 요약하고 있다.

<표 1> 단대단 성능 측정 도구의 측정 메트릭과 특징

도구	측정 메트릭	특징
Pathchar	Bandwidth, RTT, Loss Rate, Average Queue delay	측정 결과를 GUI 형태로 출력
Sprobe	Bottleneck Link Bandwidth	비대칭 경로 측정
Nettimer	End-to-end Bottleneck Bandwidth	Libdpcap 를 이용한 데이터 수집
Pathload	End-to-End Available Bandwidth	다수의 UDP 스트림을 이용
Pathrate	Path Capacity	다른 Traffic 의 영향을 받지 않음
TReno	Bulk Transfer Capacity	Reno TCP 를 흉내냄
Netest	Maximum Burst Size, Available Bandwidth, Achievable Bandwidth	네트워크 진단을 위한 도구
Web100	Available Throughput	TCP 알고리즘 실험

3. 측정방법에 따른 단대단 성능 측정 도구의 분류

망 성능 측정을 위한 기술은 측정 방법의 특징에 따라 크게 능동 측정(Active measurement)과 수동 측정(Passive measurement)으로 나눌 수 있다.[1]

3.1. 능동 측정 방법

능동 측정 방법이란 네트워크의 성능을 측정하기 위해 테스트 패킷을 발생시켜 망의 성능을 측정하는 방식을 말한다. 주요 성능 측정 요소로는 지연시간(Delay), 패킷 손실(Packet Loss), 대역폭(Bandwidth), 지터(Jitter) 등을 들 수 있다. 능동 측정 방식은 성능 측정을 위해 사용된 테스트 패킷이 네트워크의 상황을 변경시킬 수 있는 단점이 있다. TCP 기반의 능동 측정 방식은 주로 대역폭을 구하기 위해 많이 사용되며 UDP 기반의 능동 측정방식은 단방향 패킷 손실, 왕복 대역폭 등을 구하는데 사용되며, ICMP 기반은 망의 가용성, 왕복 지연 시간, 왕복 패킷 손실 등을 구하는데 사용된다. 대표적인 단대단 성능 측정 도구로는 pathchar[2], sprobe[3], pathload[4], pathrate[5], TReno[6] 등이 있다.

3.2. 수동 측정 방법

수동 측정 방법이란 추가적인 패킷 발생 없이 네트워크 링크나 스위치, 라우터를 경유하는 트래픽을 수집하고 그 트래픽의 특성을 분석하는 방식을 말하며, 주요 성능 측정 요소로는 이용률(Utilization) 과 트래픽 패턴(Traffic Pattern) 등이 있다. 수동 측정 방법은 대용량의 데이터 트래픽 발생으로 인해 분석에 많은 네트워크 시스템의 자원을 필요로 하고 망의 고속화로 인한 트래픽 처리가 쉽지 않은 단점을 지니고 있다. 수동 측정 방식은 대표적으로 SNMP 의 MIB 을 통한 측정과 라우터의 플로우 생성 도구를 통한 플로우 기반 및 패킷 기반 트래픽 측정 방식으로 나눌 수 있다. 대표적인 단대단 성능 측정 도구로는 Web100[7], nettimer[8] 등이 있다.

<표 2>는 단대단 성능 측정 도구들의 측정방법에 따른 분류를 나타내고 있다.

<표 2> 단대단 성능 측정 도구의 측정 방법에 따른 분류

도구	측정방법
Pathchar	UDP 패킷을 이용한 능동 측정
Sprobe	패킷쌍 기술을 이용한 능동 측정
Nettimer	패킷쌍 기술을 이용한 수동 측정
Pathload	SLOPS 방법을 이용한 능동 측정
Pathrate	다양한 크기의 UDP 패킷 쌍을 이용한 능동 측정
TReno	작은 TTL 값을 가지는 UDP 패킷을 이용한 능동 측정
Netest	UDP 를 이용한 패킷쌍 기술을 통한 능동 측정
Web100	능동적 성향을 지닌 수동 측정

4. 성능 측정의 한계점

첫째, 측정 방법 자체가 단점을 가지고 있다. 능동 측정 방법의 경우 필요한 시간에 네트워크의 성능을 측정할 수 있는 장점이 있으나 Probe 의 사용량에 따라 네트워크의 성능에 영향을 미치는 단점을 지니고 있다. 또한 동적 라우팅 방식으로 인해 상황에 따른 측정 포인트에 대한 위치가 달라지는 단점을 지니고 있다. 수동 측정 방법의 경우 개인 정보를 수집하는데 있어 개인정보침해의 가능성이 있는 문제점과, 고속 네트워크에서의 측정에 있어서 모든 패킷을 검사하는데 많은 오버헤드를 일으킬 수 있는 단점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위한 샘플링 기법이 도입되기도 하지만, 정확한 네트워크의 상태를 측정하기에 여전히 부족한 문제점을 지니고 있다.

둘째, 단대단 성능 측정 및 성능 향상을 위한 네트워크 진단 기술이 부족하다. 앞서 소개된 도구들 중 네트워크 진단을 위해 설계된 도구는 Netest 하나뿐이다. TCP 프로토콜의 특성상 네트워크에서 병목 현상이나 호스트 구성 오류로 인한 버퍼에러 문제로 인해 성능이 저하될 수 있다. 이를 해결하기 위한 정확한 TCP 성능 측정 및 진단 기술이 필요하다.

셋째, 실험적인 전송 프로토콜의 적용의 한계점이 존재한다. 즉, 새로운 전송 알고리즘을 적용할 수 있는 인프라와 그것을 측정할 수 있는 기술이 부족하다. 앞서 소개된 도구들 중 Web100 만이 다양한 TCP 버전의 알고리즘을 실험할 수 있는 환경을 제공하며 나머지 도구들은 단대단 경로에 있어서 대역폭 혹은 병목 현상을 진단하는 기능만을 제공하고 있다.

넷째, 대부분의 성능 측정 도구들이 결과를 도출할 뿐 그 결과를 그래프를 통해 시각화하지 않고 있다. 시각화 된 결과는 그 결과를 해석하는데 있어서 매우 중요한 요소이다. 현재 시각화 도구인 Viznet[10]과 weathermap[11]과 연동을 통해 시각화 기능을 제공하고 있는 도구들이 존재하지만 표현할 수 있는 내용에 있어서 한계점이 존재한다.

마지막으로 성능 측정 표준화 작업에 있어서 한계점이 존재한다. IETF 및 ITU-T 에서는 네트워크의 성능을 측정하기 위한 표준화 작업을 수행하고 있으나 망 발전 속도와 표준화 작업 속도는 현저한 차이를 보이고 있다. 또한 IETF 의 IPPE 는 IP 단에서의 측정

메트릭을 정의하는데 그쳐, TCP 나 UDP 에 대한 성능 측정은 아직 표준화가 이루어지지 않고 있다. ITU-T 는 망 구성 장비에 대한 표준을 제정으로 목적으로 하는 만큼 성능 측정에 대한 표준화 작업에 중점을 두고 있지 않다.

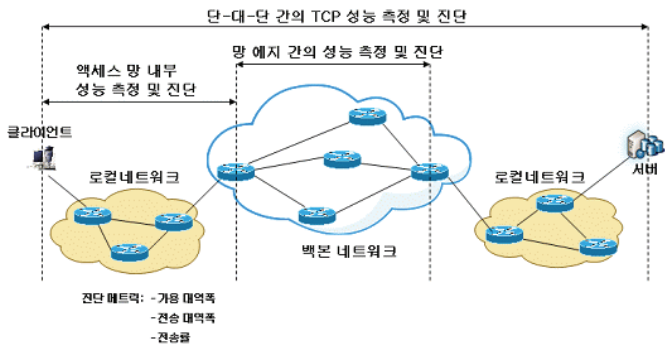
5. 현재 동향 및 앞으로의 개발 방향

5.1. Hybrid 측정 방법에서의 전환

능동 측정 방법을 통한 단대단 측정 방법과 수동 측정 방법을 통한 망 전체의 상태 수집 기능을 혼합한 방법에서의 전환이 가속화 되고 있다. 이미 CISCO 의 Netflow 는 장비에서의 처리능력만을 측정하는 방법에서 CISCO 장비를 사용하는 모든 장비에 대해 SNMP 나 Probe 를 이용하여 통계적 처리능력 계산을 수행하고 있으며, 망 전체에 대한 진단 기능을 제공하고 있다.

5.2. 정확한 네트워크 진단 기술의 개발

단대단 성능 측정 및 성능 향상을 위해서 정확한 네트워크의 진단 기술이 필요하다. 이를 위해서 (그림 1)과 같이 성능 측정 도메인을 좀 더 세분화할 필요성이 있다. 즉, 기존의 단대단 뿐만 아니라 망대망 그리고 액세스 망 내부 등으로 세분화하고 각 도메인 별 특징에 적합한 성능 측정 및 진단 기술의 연구 개발이 필수적이다.



(그림 1) 성능 측정 도메인

5.3. 새로운 전송 알고리즘의 적용 가능성

차세대 선도 망 구축을 위해 전송 프로토콜 자체적인 성능 향상이 있어야 할 것이다. 이를 위해서는 새로운 전송 알고리즘을 테스트 하기 위한 도구의 개발이 필수적이다. 기존의 TCP 뿐만 아니라 새로운 전송 알고리즘을 사용자가 손쉽게 구현해 실험을 할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공해야 한다.

5.4. 측정 결과의 시각화

측정 결과를 효율적으로 분석하기 위한 시각화 기능이 제공되어야 한다. 사용자가 원하는 측정 목표에 부합되도록 측정 결과를 분석하고 그래프와 도표를 통해 표현될 수 있어야 한다.

5.5. 표준화 작업

성능 측정 표준화에 있어서 좀 더 세부적인 표준화 작업이 진행되어야 한다. 기존의 IP 단에서의 표준화 뿐만 아니라 전송계층까지 확장되는 표준화 작업이 필요하며 기본적으로 망 발달 속도에 부합되어야 한다.

6. 결론

최근 대용량 데이터 전송을 요구하는 인터넷 사용 환경을 고려할 때 고성능 망에서의 단대단 성능 측정 및 진단기술이 중요시 되고 있다. 현재 단대단 성능 측정을 위해 Pathchar, Sprobe, Pathload, TReno 등 다양한 도구들이 개발되어 왔다. 이들 측정 도구들은 네트워크에 트래픽 강제 유발에 따라 능동 혹은 수동 측정 방법을 통해 각기 가용 대역폭, 데이터그램 손실률, 최대 전송 용량 등을 측정하고 있다.

하지만 TCP 나 IP 단에서의 성능 측정에 대한 표준화의 부재 그리고 능동적 수동적 측정 방법의 특징으로 인한 단점, 정확한 네트워크 진단 기술의 부재, 새로운 전송 알고리즘의 실험의 어려움 그리고 측정 결과의 시각화를 제공하지 않는다는 점은 단대단 망 성능 측정 및 진단을 위해 앞으로 해결해야 할 문제이다.

참고문헌

- [1] Maheen Hasib and John A. Schormans, "LIMITATIONS OF PASSIVE & ACTIVE MEASUREMENT METHODS IN PACKET NETWORKS," London Communications Symposium, 2003.
- [2] Web, "http://www.caida.org/tools/utilities/others/pathchar/".
- [3] Stefan Saroiu, P.Krshna Gummadi and Steen D. Gribble, "Sprobe: A Fast Technique for Measuring Bottleneck Bandwidth in Uncooperative Environments," IEEE INFOCOM, 2002.
- [4] C. Dovrolis and M. Jain, "Pathload: A measurement tool for end-to-end available bandwidth," In Passive and Active Measurements Workshop, 2002.
- [5] C. Dovrolis, P. Ramanathan and D. Moore, "What do packet dispersion techniques measure?," Proceedings of IEEE Infocom, 2001.
- [6] Matt Mathis, "TReno Bulk Transfer Capacity," Intenet Draft Report, Feb. 1999, Filename: draft-ietf-ippm-treno-btc-03.txt.
- [7] M. Mathis, J Heffner and R Reddy, "Web100: Extended TCP Instrumentation for Research, Education and Diagnosis," ACM Computer Communications Review, Vol 33, Num 3, July 2003.
- [8] K. Lai and M. Baker, "Nettimer: A tool for measuring bottleneck link bandwidth," In Proceedings of USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, 2001.
- [9] G Jin, B Tierney, "Netest: A Tool to Measure the Maximum Burst Size, Available Bandwidth and Achievable Throughput," ITRE, August 2003.
- [10] Web, "http://dast.nlanr.net/Projects/Viznet/"
- [11] Web, "http://netmon.grnet.gr/weathermap/"