

IP 상에서의 종단간 QoS 측정 시스템 연구

박동규^o 정재일, 이주영, 안영수

한양대학교 전자통신전파공학과

hotsmile^o@mnlab.hanyang.ac.kr, jijung@hanyang.ac.kr, {jylee, andung2}@mnlab.hanyang.ac.kr,

A Study on end-to-end QoS measurement system over IP network

Dongkyu Park^o Jaeil Jung

Dept. of Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

요 약

최근 인터넷 사용의 폭발적인 증가와 업무에 있어서 네트워크 의존도가 증가함에 따라 최종 사용자들은 좀 더 신뢰성 있는 네트워크 서비스를 요구하게 되었다. 또한 보편적인 인터넷망은 최선형 서비스(best-effort service)를 모델로 하기 때문에 종단간(end-to-end) QoS(Quality of Service)를 만족시키지 못하고 있다. 따라서, 네트워크 관리자는 최종 사용자 관점에서 네트워크 성능을 모니터링하여 언제, 어느 구간에서 QoS를 만족시키지 못하는지 파악하기를 원한다.

본 논문에서는 IP 상에서의 전송프로토콜 별 종단간 QoS 측정 방법을 연구하고 네트워크 제공자와 사용자 간에 체결한 SLA(Service Level Agreement)를 만족하는지 분석하여 문제 구간 및 노드를 파악할 수 있는 시스템의 구조를 제시한다.

1. 개요

최근 인터넷 사용의 폭발적인 증가와 개인용 컴퓨터의 보급의 활성화에 의해 WWW(World Wide Web), 이메일(e-mail), 주문형 비디오(VoD), 전자상 거래(Electronic Commerce)와 같은 애플리케이션을 인터넷상에서 어디서든지 사용할 수 있게 되었고 이러한 애플리케이션들은 기업이나 학교, 개인 사용자들의 거의 모든 업무에 관계되어 생산성 향상에 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 날로 네트워크를 이용한 업무가 증가하고 있는 추세이며 사용자들은 좀 더 신뢰성 있고 효율적인 네트워크 서비스를 요구하고 있다.

그리고 네트워크 장비의 다양화와 망 자체의 복잡화는 더욱더 네트워크 관리의 필요성을 대두시켰고 인터넷 서비스 제공자(Internet Service Provider)와 최종 사용자 사이에 네트워크 서비스에 대한 객관적 성능 평가가 절실히 필요하게 되었다. 따라서, 인터넷 서비스 제공자와 사용자는 일종의 서비스 품질(Quality of Service)에 대한 계약을 체결하여 관리자는 자신의 제공하는 네트워크가 사용자와 체결한 SLA(Service Level Agreement)를 만족하는지 네트워크 성능에 대해 알고 싶어 할 것이다.

그런데, 보편적인 인터넷망은 최선형 서비스(best-effort service)를 모델로 하기 때문에 최종 사용자 관점에서의 종단간(end-to-end) 서비스 품질(Quality of Service)을 만족시키지 못하고 있다. 최근 몇 년 전부터 IP 기반 망에서 QoS를 제공하려는 연구가 활발히 진행 중에 있지만, 이는 진정한 의미에서 종단간 QoS를 보장하기에는 많은 한계성을 보여주고 있고 완벽한 서비스 품질을 보장할 수 없다. 따라서, 네트워크 관리자는 최종 사용자 관점에서의 네트워크 성능을 모니터링하고 언제, 어디서 SLA를 위반하는 장애가 발생했는지 확인해야만 한다.

따라서, 본 논문에서는 IP망에서 전송 프로토콜인 TCP(Transport Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol), RTP(Real-time Transport Protocol)의 특성에 따라 종단간 서비스 품질 측정 방안을 제시하고 측정 시스템을 설계하고 구현한다.

본 논문은 2장에서 종단간 연결에 대한 성능 측정 시스템 구조를 제시하고 3장에서 성능 측정 시스템 모델을 제시 및 시뮬레이션

결과를 보여준다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 계획에 대해서 알아본다.

2. 종단간 연결에 대한 성능 측정 시스템 구조

2.1 종단간 연결 성능 측정 방안

2.1.1 종단간 성능 파라미터

TCP의 경우 종단간 QoS 파라미터로 정의할 수 있는 요소는 전송률(Throughput), 응답 시간(Response Time), 처리률(Throughput), 응답 시간(Response Time), 처리률(Throughput)이다.[1] 전송률은 통신 네트워크의 성능을 나타내는 중요한 척도이다. 흔히 특정 응용 서비스에 할당해 줄 수 있는 대역폭의 양을 나타내며, 링크의 전송속도, 손실률, 노드의 버퍼 용량, 프로세싱 처리 능력에 의해 결정된다.[2] 또한, 응답 시간은 응용에 대한 기본적인 성능을 나타내며 네트워크를 통해 전체 트랜잭션에 대한 총 걸린 시간이다. 그리고, 처리률은 단위 시간에 발생한 트랜잭션의 수이다.

UDP인 경우에는 전송률, 손실률(Loss Rate), 지연변이(Jitter)로써 QoS 파라미터를 정의할 수 있다.[3] 전송률은 TCP에서 정의한 방식과 동일하며 손실률은 전체 전송된 데이터 중에 네트워크 상에서 분실된 데이터량을 나타낸다. 지연변이는 RFC 1889에서 정의한 방식에 의해 구해지며 이런 지연 변이 값들로 짧은 기간의 네트워크의 혼잡 상태를 파악할 수 있다. 표 1은 전송 프로토콜에 따른 QoS 파라미터를 보여준다.

표 1 QoS 파라미터

| Protocol | TCP | UDP | RTP |
|----------|---|---|---|
| QoS 파라미터 | · Throughput · Response Time · Transaction Rate | · Throughput · Lost Rate · Jitter | · Throughput · Lost Rate · Jitter |

2.2 종단간 연결 성능 측정 원리

2.2.1. TCP

IP 망에서 TCP 전송 프로토콜에 대한 QoS 측정에서 응답 시간은 아래 식(1)과 같다.

$$Response\ Time = Received\ Time - Sent\ Time \quad \text{식(1)}$$

여기서, 서버는 사용자로부터 전송할 파일 크기를 설정하여 버퍼 크기만큼 나누어서 전송하고 전송을 시작할 때 수신 시간을 체크한다. 앤드 포인트는 전송한 파일을 전부 수신한 후에 응답(ACK)을 보내어 수신되었음을 서버 측에 알려 주며 서버는 응답을 수신할 때 수신된 시간을 얻어내어 응답 시간을 계산할 때 사용한다.[4]

처리율은 응답 시간의 역수이므로 식(2)와 같이 계산한다.

$$Transaction\ Rate = \frac{1}{Response\ time} \quad \text{식(2)}$$

전송률은 전체 전송된 파일의 크기를 응답 시간으로 나누어서 계산하며 아래 식(3)과 같다.

$$Throughput = \frac{Total\ File\ Size}{Response\ Time} \quad \text{식(3)}$$

2.2.2 UDP

UDP 전송 프로토콜에 대한 QoS 파라미터 측정에서 전송률은 TCP의 경우와 동일한 방식으로 계산된다.

손실은 수신된 패킷의 헤더 중 sequence number를 통하여 네트워크 상에서의 패킷 손실을 추출할 수 있다. 스트리밍 측정 모듈에서는 패킷을 수신하여 sequence number를 조사하고 손실이 일어났을 경우 count를 늘린다. 이 때 인터넷상의 전송에 의해 생길 수 있는 sequencing 문제를 고려해야 한다. 이 때 손실 측정의 오류를 방지하기 위하여 손실이 측정된 number를 저장하고 다음 수신되는 N개의 패킷의 sequence number와 비교하는 과정을 수행하게 된다. 측정된 손실은 count 되어 실시간으로 보여 지게 된다.

전송이 완료되면 손실률을 측정하게 된다. 손실률은 전체 파일의 크기를 가지고 측정이 되며 송신한 파일의 크기와 수신된 파일의 크기를 비교하여 측정된다. 손실률의 경우는 송신한 전체 파일 크기에서 수신 측에 수신한 파일 크기를 빼어 백분율(%)로 나타낸다.[5] 아래 식(4)와 같다.

$$Lost\ data = \frac{Sent\ File\ Size - Received\ File\ Size}{Sent\ File\ Size} * 100 (\%) \quad \text{식(4)}$$

지연 변이는 패킷간의 전송 시간 사이의 차이 정도를 나타낸다. 또한 스트리밍의 실시간성에 의해 가장 중요한 파라미터가 된다. 만일 모든 패킷간의 전송 시간이 동일하다면 지연변이 값은 영이 된다. 그러나, 패킷간의 전송 시간 차이가 약간이라도 발생하면 지연변이를 포함하게 된다. 지연변이는 1-point 계산법과 2-point 계산법이 있다. 1-point 계산법은 전송 간격을 고정값으로 설정해 놓고 실제 수신 간격과 비교하여 지연변이를 추출해 내는 방법을 말하고 2-point 계산법은 송 수신단의 전송간격과 수신간격을 비교하는 방법이다. 지연변이 계산은 2-point 계산법을 이용한다. 즉, 송신단의 실제 전송시간과 수신단의 실제 수신 시간을 측정하여 계산함으로써 실제 상황 지연변이 값에 근접하도록 하였다. 지연 변이를 구하기 위해 두 패킷에 대한 상대 전송 시간의 차이를 구해야 하는데 i번째와 j번째 전송된 패킷의 전송 시간 차이(D)는 식(5)에서 구해지고 이 값을 가지고 서버로부터 수신되어지는 각 테스트 패킷에 대한 지연 변이를 계산한다. 식(6)은 RFC 1899에 의해 정의되어진 공식이다.[6]

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) \quad \text{식(5)}$$

$$Jitter(J) = J + (|D(I-1), I| - J) / 16 \quad \text{식(6)}$$

2.2.3. RTP

RTP인 경우에도 UDP와 동일한 QoS 파라미터를 갖는데 측정

방법도 동일하다.

2.3 통신망 성능 관리 방안

최종 사용자 관점에서 네트워크 QoS 파라미터를 정의하여 최종 사용자가 실제로 느끼는 QoS를 측정할 수 있다. 따라서 네트워크 관리자는 사용자 입장에서 네트워크 성능에 대한 문제를 바라보고 실제 어느 노드(Node) 상에서 병목 현상(bottleneck)이 발생하고 어느 시각에 자주 발생하는지 알기를 원할 것이다. 네트워크 관리자는 네트워크 성능 저해 요소를 파악하여 장애 발생에 대한 후속 조치를 취할 것이다. 따라서 각 구간 별로 네트워크 성능에 대한 측정을 실시하고 문제점을 파악할 수 있는 방안이 필요하다.

첫 번째 방법은 traceroute 방법을 이용하는 것이다. traceroute는 ICMP 프로토콜을 이용하여 해당 노드의 지연(delay) 시간을 계산하여 준다. 이런 노드에 대한 지연 정보를 파악하여 해당 네트워크의 장애를 파악할 수 있다. 그러나 IP망은 각각의 노드마다 라우팅 정보가 있고 어느 한 노드에서 장애가 발생하면 주변 노드에서 장애 노드에 대한 정보를 공유하여 자신에게 들어오는 패킷을 장애가 발생한 노드 혹은 네트워크로 라우팅을 하지 않을 것이다. 따라서 관리자는 어느 노드에 문제가 발생했는지 먼저 알고 있어야 해당 노드로 traceroute를 실시할 수 있을 것이다. 그러므로 단지 traceroute를 실시만으로는 네트워크의 문제점을 찾아내기란 쉽지 않다.

두 번째 방안으로 최종 사용자의 컴퓨터에 설치했던 앤드 포인트 에이전트를 해당 네트워크의 중요 노드나 자주 문제가 발생하는 네트워크 사이의 노드들에 설치한다. 일단 최종 사용자 입장에서 종단간 네트워크 QoS 성능 측정을 실시하고 성능 저하가 발생하면 앤드 포인트를 설치한 노드를 이용하여 망 구간별로 QoS 성능 테스트를 실시하여 성능 저하를 발생시키는 노드를 찾아낸다. 본 네트워크 QoS 측정 시스템을 이용하여 종단간 네트워크 측정뿐만 아니라 구간별 망 성능 측정을 실시하여 명확히 망 장애 요소를 파악해 낼 수 있다. 따라서 네트워크 관리자는 명확히 자신의 망에 대한 투명한 관리를 할 수 있으면서 최종 사용자 관점에서의 네트워크 서비스를 제공할 수 있도록 도와준다.

3. 성능 측정 시스템 설계 및 구현

3.1 종단간 연결 성능 관리를 위한 성능 측정시스템 모델링

네트워크 QoS 측정 시스템은 서버와 앤드 포인트라는 에이전트(Agent)로 구성되어진다. 서버에서는 측정을 주도하고 측정 결과치를 분석하여 실시간 모니터링을 하고 데이터베이스에 저장한다. 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다.

서버의 기능별 모듈은 사용자 인터페이스 모듈, 네트워크 측정 QoS 모듈, traceroute 모듈, 데이터베이스 저장 모듈로 크게 4개의 모듈로 나눌 수 있고 앤드 포인트는 네트워크 응답 모듈 기능을 갖는다. 다음은 각 모듈에 대한 기능을 설명한다.

3.1.1 사용자 인터페이스 모듈

사용자 인터페이스 모듈을 네트워크 관리자가 네트워크 QoS/성능을 측정하기 위해 측정 파라미터를 입력하고 측정 결과치를 실시간 그래프와 함께 통계 분석 값들을 보여주는 역할을 한다.

3.1.2 네트워크 QoS 측정 모듈

네트워크 측정 모듈은 사용자 인터페이스 모듈로부터 측정할 앤드 포인트를 전달 받고 해당 앤드 포인트로 소켓을 열어 테스트 패킷을 해당 앤드 포인트로 전송하는 기능을 갖는다. 또한, 앤드 포인트로부터 응답 메시지(ACK)를 수신하여 네트워크 QoS를 측정하고 각 QoS 파라미터에 대해 성능 분석을 한다.

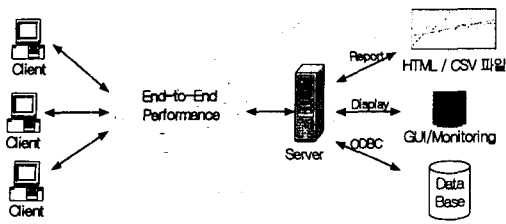


그림 1 시스템 구성도

이 성능 분석 값들은 사용자 인터페이스 모듈과 데이터베이스 저장 모듈로 전달된다.

3.1.3 traceroute 모듈

traceroute 모듈은 네트워크 QoS 측정 후 해당 앤드 포인트에 성능 장애를 발견하면 해당 앤드 포인트로 traceroute를 실시하여 어느 노드에서 장애가 발생하는지 확인하기 위해 고안된 모듈이다. 이 모듈의 기능은 ICMP 프로토콜을 이용하여 노드에 대한 지연 정보를 얻어오는 기능을 한다. 이 지연 정보는 데이터 저장 모듈로 전달되어 데이터베이스에 저장된다.

3.1.4 데이터 저장 모듈

데이터 저장 모듈은 SQL DB를 이용하여 데이터베이스에 네트워크 QoS 측정 결과 값들과 traceroute 측정 결과 값들을 저장한다. 데이터베이스에 저장된 값들에는 해당 앤드 포인트의 IP 주소와 네트워크 QoS/성능을 측정한 날짜와 시간 정보도 같이 포함된다.

3.1.5 네트워크 측정 응답 모듈

앤드 포인트는 서버에서 송신한 테스트 패킷을 수신하고 수신 응답 메시지(ACK)를 서버로 전송하는 네트워크 측정 응답 모듈로 나누어진다. 네트워크 측정 응답 모듈은 네트워크 성능을 측정하기 위해 간단한 시간정보와 같은 QoS 측정에 필요한 정보를 포함하여 응답 메시지(ACK)를 서버로 전달하는 기능을 담당한다. 그림 2 는 서버의 기능 모듈과 측정 방법을 보여준다.

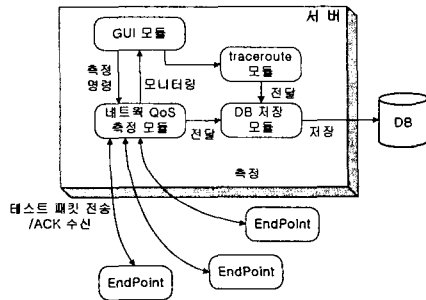


그림 2 서버의 기능별 모듈

3.2 구현 및 시뮬레이션 결과

본 시스템의 테스트 과정은 다음과 같은 단계를 따른다. 1단계에서 서버는 EndPoint Discovery 모듈을 실행하여 테스트 가능한 EndPoint를 발견하고, 2단계에서 테스트 가능한 임의의 두 개의 EndPoint를 선택하여 QoS 성능 측정 모듈을 실행한다. 그리고, 3단계에서 각각의 EndPoint는 서로 상대 노드간의 네트워크 상태를 알려주는 QoS 파라미터를 추출하여 서버에 전달해주고, 서버는 그 값을 그래프로 표시하게 된다. 4단계에서는 테스트한 파라미터 값을 SQL DB에 저장하여 웹 리포팅을 가능하게 하고 마지막 단계로, 측정된 QoS 측정 파라미터

및 그래프를 보고, 네트워크 관리자가 한 구간 이상의 임의의 구간에서 traceroute 메시지를 전송하여 SLA 위반 여부를 결정할 수 있다. 주요 시뮬레이션 결과 화면은 다음과 같다.

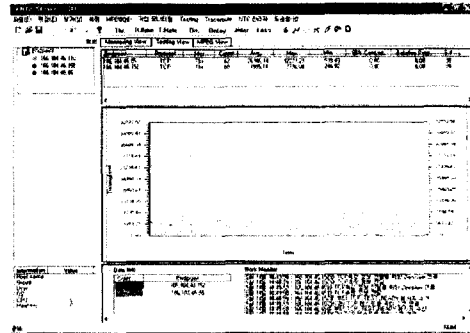


그림 3 네트워크 QoS 측정 화면

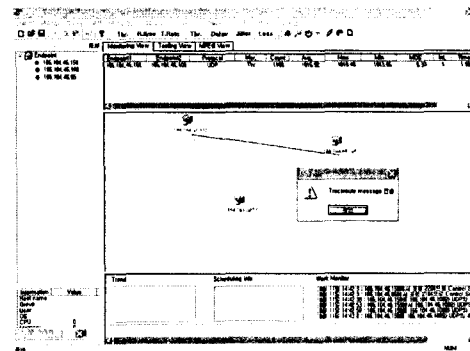


그림 4 SLA 위반 구간 화면

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 IP 상에서 중단간 QoS 측정 결과를 통해 중단간 트래픽 전송량 및 네트워크 상태를 예측할 수 있었다. 또한 문제 구간을 테스트 함으로 SLA 위반 여부를 테스트 할 수 있었다. 이 연구는 계속해서 진행 중이며, 향후 영상 스트리밍 측정 서비스, VoIP 프로토콜등으로 확대가 요망되며, SLA 관점에서 사용자 요구를 만족시키기 위한 보다 구체적인 방안이 마련되어야 할 것으로 전망된다.

5. 참고 문헌

[1] W. Richard Stevens, "TCP/IP Illustrated", Volume 1, Addison Wesley, 1994.
 [2] K. Lai, M. Baker, "Measuring Bandwidth", In Proceedings of IEEE INFOCOM, March 1999.
 [3] P. Ferguson and G. Huston, "Quality of Service-Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks", Wiley computer Publishing, 1998.
 [4] G. Almes, et al, "A Round-trip Delay Metric for IPPM", RFC 2681, Sept. 1999.
 [5] G. Almes, et al, "A One-way Packet Loss Metric for IPPM", RFC 2680, Sept. 1999.
 [6] H. Schulzrinne, GMD Fokus, V. Jacobson, "A Transport Protocol for Real-Time Applications". RFC 1889, http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt, 1996.