

## 자가혼잡유발 기법을 이용한 효율적인 네트워크 가용대역폭 측정 방안

### The Efficient Scheme of Available Bandwidth Estimation using Self-Induced Congestion

양현종, 강미영, 이형옥, 남지승  
전남대학교

Yang Hyun-jong Kang Kang Mi-young Lee Hyung-ok,  
Nam Ji-seung  
A National University of Chonnam

#### 요약

인터넷에서 단대단(end-to-end) 가용대역폭 측정은 분산된 응용서비스, 단대단 QoS 보장, 오버레이 네트워크에서의 경로설정, SLA(Service Level Agreements), 분산 네트워크, 지능적인 라우팅 시스템, 비디오/오디오 스트리밍 시스템에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 단대단 가용대역폭 측정기법으로 단일-홉-갭 모델에 기반한 패킷 트레인(packet train) 전송을 통하여 가용대역폭을 측정하는 기법과, 각각의 패킷의 전송률을 높여가며 수신측에서의 지연시간(Queueing Delay)를 분석하여 가용대역폭을 측정하는 자가 혼잡 유발(SLoPS: Self-Loading Periodic Stream) 기법이 있다. 본 논문에서는 자가 혼잡 유발 기법을 이용하여 가용대역폭 측정 방안을 제안한다.

## 1. 서론

최근 광가입자망의 보급으로 네트워크가 고속화됨에 따라 고화질의 멀티미디어 스트리밍, 화상회의, IPTV와 같은 서비스가 가능해졌다. 기존 VoD방식처럼 콘텐츠를 다운로드 후 재생하는 방식이 아니라 실시간으로 스트리밍 해주는 기술에 대한 연구가 활발해 짐에 따라 종단간 네트워크 가용대역폭을 측정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

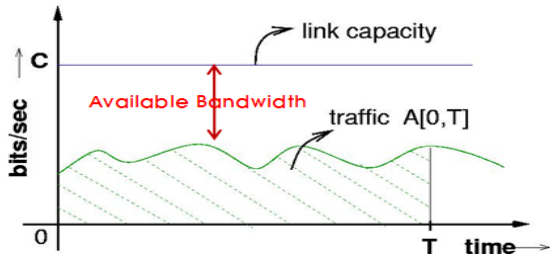
종단간 네트워크 가용대역폭을 측정함으로써 네트워크 접근제어, 서비스 받을 서버 선택 문제, 오버레이 네트워크에서의 최적의 경로 선택, 혼잡제어 등에서 다양하게 응용할 수 있다.[1] 또한 실시간으로 멀티미디어 콘텐츠를 스트리밍 해주는 서비스에서 무엇보다 중요한 것은 송신자와 수신자간의 경로 상에서 가용대역폭을 빠르고 정확하게 측정하는 것이다. 네트워크 가용대역

폭으로 실시간으로 측정함으로써 송신자의 전송률을 제어하여 멀티미디어 콘텐츠 스트리밍을 부드럽게 서비스 해주는 것이 가능하다. 그러나, 가용 대역폭 자체가 실시간으로 변하기 때문에 측정하는데 시간이 오래 걸리거나, 정확도가 떨어지게 되어 원활한 서비스를 해줄 수가 없다.[2]

인터넷은 다중 홉으로 구성되어 있으며 다수의 병목 링크와 혼잡 링크가 존재하며 경쟁 트래픽의 유입도 동시다발적으로 이루어진다. 또한 실시간 스트리밍 서비스에서는 전송된 데이터를 실시간으로 재생하기 위하여 수신 버퍼를 최소화해야 한다. 수신 버퍼는 사이즈가 작기 때문에 대역폭의 변화에 민감할 수밖에 없다.

본 논문에서는 기존의 가용 대역폭 측정 기법들의 특징과 장단점에 대해 알아보고 3장에서는 자가 혼잡 유발 기법을 이용한 가용대역폭 측정 알고리즘을 제안하고 4장에서 향후 연구과제 및 결론을 맺는다.

## 2. 종단간 네트워크 가용대역폭 측정 기법



▶▶ 그림 1. 링크상의 경쟁트래픽과 가용대역폭

그림 1은 네트워크 경로에서의 고정 대역폭과 가용 대역폭을 나타내고 있다. 여기에서

$$C = \min_{i=1, \dots, H} C_i \quad (1)$$

인 고정대역폭 C를 narrow link라 한다.

$$B[t - \tau, t] = \min_i \left( C_i - \frac{A_i[t - \tau + p_i, t + p_i]}{\tau} \right) \quad (2)$$

그리고 단위시간 동안의 가용 대역폭 B를 그림 1과 식 2를 통하여 나타낼 수 있다. 여기에서  $p_i$  는 특정 링크에서의 Propagation Delay와 Processing Time을 포함한다.

종단간 네트워크 가용 대역폭 측정 기법은 크게 단일-홉 갭 모델 기법과 자가 혼잡 유발 (Self-Induced Congestion) 기법으로 나눌 수 있다.

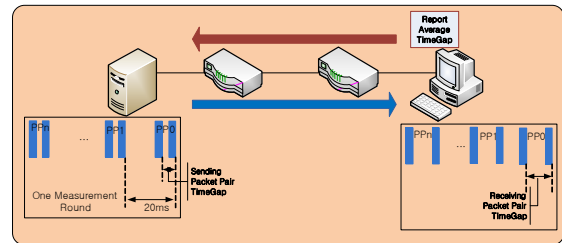
단일-홉 갭 모델 기법은 네트워크 병목 링크를 갖는 단일 홉으로 축소하여 모델링하고 패킷 쌍을 일정한 간격으로 송신했을 때 수신되는 패킷의 출력 간격을 분석하여 가용 대역폭을 측정하는 기법이다. 이러한 기법은 적은 수의 패킷을 이용하기 때문에 빠르게 가용대역폭을 찾을 수 있다는 장점이 있다. 또한 측정 패킷의 크기가 작아서 네트워크에 크게 부하를 주지 않는 장점이 있다. 그러나 병목 링크의 고정 대역폭을 정확하게 측정하지 못할 경우 오차가 크게 발생할 수 있으며, 병목링크와 혼잡링크가 경로 상에서 서로 다른 링크일 경우 오차가 발생하게 된다.

자가 혼잡 유발 기법은 전송하는 패킷의 전송량을

높여가면서 수신측에서 관찰되는 Queueing Delay를 분석함으로써 가용대역폭을 측정하는 기법이다. 이러한 기법은 측정 패킷이 겪는 지연을 통해 가용 대역폭을 측정하기 때문에 병목 링크나 혼잡 링크의 위치에 관계 없이 가용 대역폭을 찾을 수 있는 장점이 있다. 따라서 실제 네트워크 상황에 더욱 적합한 모델이라고 할 수 있다. 그러나 자가 혼잡을 유발하기 때문에 측정 패킷 자체가 네트워크에 부하를 주게 되어 측정 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

## 3. 제안 알고리즘

자가 혼잡 유발 기법의 PP(Packet Pair) 방식을 이용한 가용대역폭 측정기술은 그림 2와 같다. 자가 혼잡 유발 기법은 Probe Packe의 전송량을 높여가면서 수신측에서 관찰되는 Queueing Delay를 분석함으로써 가용 대역폭을 측정하는 기법이다. 이러한 기법은 Probe Packet의 Delay를 통해 가용 대역폭을 측정하기 때문에 병목 링크나 혼잡 링크의 위치나 유무에 관계없이 네트워크 가용대역폭을 측정할 수 있다.



▶▶ 그림 2. 자가혼잡유발기법을 이용한 가용대역폭 측정 알고리즘

$$TransmissionRate = \frac{PacketSize}{PP'sTimeGap} \quad (3)$$

$$PotentialAvBw = \frac{PacketSize}{ReportedAverageTimeGap} \quad (4)$$

$$RealAvBw = \frac{PacketSize}{LastReportedAverageTimeGap} \quad (5)$$

송신측의 초기 전송률(식 3)은 Packet Size와 PP의 초기 전송 Time Gap에 따라 결정이 되고 50개의 Probe Packet Pair를 수신측에 전송하게 된다. PP의 초기 전송 Time Gap은 로컬 Capacity에 의해 결정되고 측정량은 로컬 Capacity를 초과할 수 없게 된다. 이때의 각각의 PP간 간격은 20ms로 50개의 PP는 1초에 한번의 Measurement Round를 수행하게 된다. 수신측은 수신된 50개의 PP간 시간 차이의 평균을 구하여 송신측에 보고를 해주게 된다. 송신측에서는 한번의 Measurement Round로부터 얻은 평균 Time Gap과 전송한 Packet Size로 예측된 가용 대역폭을 잠정적으로 결정한다.(식4) 잠정적으로 결정된 대역폭을 이용하여 두 번째 Measurement Round를 수행한다. 이 때 PP의 초기 Time Gap을 수정하여 셋팅하고 송신측의 전송률을 설정하여 50개의 PP를 전송하게 된다. Measurement Round는 잠정적으로 결정된 대역폭과 송신측 전송률이 임계값에 올 때까지 수행되고 측정값이 임계값에 도달하면 측정 프로세스를 종료하고 현재의 가용 대역폭을 계산한다.(식 5)

#### 4. 향후 연구과제 및 결론

기존의 가용 대역폭을 측정하는 기법들을 나열하고 장단점을 살펴보았다. 단일-홉 갭 모델 기법은 빠르게 가용 대역폭을 측정할 수 있지만 실제 인터넷 환경에서는 오차가 많이 생길 수 있으므로, 정확도가 떨어진다. 자가 혼잡 유발 기법은 실제 네트워크 상황에서 가용대역폭을 측정하기에 적합한 기법이라 할 수 있다. 하지만 스스로 전송량을 높임으로써 네트워크에 과부하를 주게 되는 단점이 있다.

제안한 알고리즘은 자가 혼잡 유발 기법은 Probe Packe의 전송량을 높여가면서 수신측에서 관찰되는 Queueing Delay를 분석함으로써 가용 대역폭을 측정하는 기법이다. 측정 패킷이 겪는 지연을 통해 가용 대역폭을 측정하기 때문에 병목 링크나 혼잡 링크의 위치에 관계없이 가용 대역폭을 찾을 수 있는 장점이 있다.

향후 연구과제로는 망구성 환경과 경쟁 트래픽 유입을 다양화하여 경쟁트래픽의 양과 관계없이 가용대역폭을 측정할 수 있도록 하여 실제 인터넷 환경에서 성능을 평가할 수 있어야 할 것이다.

#### ■ 참고 문헌 ■

- [1] Vinay J. Ribeiro, Rudolf H. Riedi, Richard G. Baraniuk, Jiri Navratil, Les Cottrell, "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths" Proc. of Passive and Active Measurement Workshop, April 2003.
- [2] N. Aboobaker, D. Chanady, M. Gerla, and M. Y. Sansadidi, "Streaming media congestion control using bandwidth estimation" In Proceedings of IFIP/IEEE International Conference on management of multimedia networks and services, October 2002.
- [3] Hee-Kyu Kim, Hoh Peter In "An Advanced Available Bandwidth Measurement for Real-time Multimedia Streaming Service", 2008 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 Vol.35, No.1(A)