

실시간 멀티미디어 스트리밍 서비스를 위한

가용 대역폭 측정 기법

김희규, 인호

고려대학교 컴퓨터정보통신대학원

dazz@korea.ac.kr, hoh_in@korea.ac.kr

An Advanced Available Bandwidth Measurement for Real-time Multimedia Streaming Service

Hee-Kyu Kim, Hoh Peter In

Graduate school of computer & Information Technology, Korea University

요 약

가용 대역폭을 개인이 점유할 수 있는 P2P 환경에서는 고용량의 멀티미디어 데이터를 실시간으로 전송할 수 있다. 실시간 전송에서 가장 중요한 것은 가용 대역폭을 빠르고 정확하게 측정하는 것이며, 이를 제대로 측정하지 못 할 경우 네트워크에서 혼잡이 발생하여 멀티미디어 품질에 큰 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 자가 혼잡 유발을 이용한 대역폭 측정 방법인 Pathload를 개선하여 실제 네트워크 환경에서 빠르고 정확하게 가용 대역폭을 측정하는 기법을 제안한다. 실시간 전송의 특징을 감안하여 대역폭이 떨어지는 순간을 빠르고 정확하게 측정하여 끊어짐 없이 전송할 수 있도록 하였다.

1. 서론

네트워크가 고속화 됨에 따라 고품질의 멀티미디어 스트리밍이 가능해졌다. 또한 다운로드 후 재생하는 방식이 아니라 TV처럼 실시간으로 스트리밍과 재생이 이루어 지는 방식이 점차 증가하는 추세이다.

실시간 스트리밍 서비스에서 무엇보다 중요한 것은 중단간의 가용 대역폭을 빠르고 정확하게 측정하는 것이다. 가용 대역폭을 실시간으로 측정하여 혼잡이 발생할 경우 전송률을 조절하여 스트리밍이 부드럽게 이어지도록 함으로써 끊김없는 서비스가 가능하다. 그러나, 가용 대역폭 자체가 실시간으로 계속 변하기 때문에 측정 시간이 오래 걸리거나, 정확도가 떨어진다면 스트리밍 서비스

에 적용하기 힘들다.[1]

멀티미디어 스트리밍의 전송률은 가용 대역폭에 따라 결정된다. 가용 대역폭이 증가 할 경우 스트리밍의 전송률만 상향 조정하면 되지만, 대역폭이 감소 할 경우 이를 빠르게 측정하지 못하면 수신 버퍼의 언더플로우(underflow)가 발생하여 재생이 끊어지게 된다. 사용자 관점에서 봤을 때 스트리밍 품질이 개선되는 속도는 느려도 상관 없지만, 재생이 끊어지는 것은 참을 수 없는 중요한 문제이다.

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 최소화 해

야 한다. 수신 버퍼가 작기 때문에 대역폭의 변화에 민감할 수 밖에 없다.

본 논문에서는 위의 조건들을 고려하여 가용 대역폭 측정 정확도가 높다고 알려진 자가 혼잡 유발 기법 중 하나인 Pathload[6]를 기반으로 정확도와 측정 속도를 개선시킨 기법을 제안한다. Pathload는 패킷 전송 시간의 추이를 관찰하면서 전송률을 찾아내는 기법이므로, 경로 상 병목의 위치나 네트워크의 구조와 상관없이 적용 할 수 있으며, 별도의 측정 패킷을 전송하지 않아도 되는 이점이 있다. 또한 본 논문에서는 끊임없는 스트리밍이 가능하도록 대역폭이 하락할 때를 빠르게 측정하는 기법에 중점을 두었다.

2장에서는 기존의 가용 대역폭 측정 기법들의 특징과 장단점을 분석하고 3장에서는 개선된 기법을 소개한다. 4장에서는 실험을 통해 제안한 기법의 성능을 평가하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

가용 대역폭 측정 기법은 크게 단일-홉 겹 모델에 기반한 기법과 자가 혼잡 유발(Self-Induced Co-ncgestion) 기법으로 나눌 수 있다.

단일-홉 겹 모델에 기반한 기법들은 네트워크를 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 가용 대역폭을 찾을 수 있다는 장점이 있다. 또한 측정 패킷의 크기가 작아서 네트워크에 크게 부하를 주지 않는다. 그러나 병목 링크의 고정 대역폭을 정확하게 측정하지 못할 경우 오차가 크게 발생할 수 있으며, 병목 링크와 혼잡 링크가 경로 상에서 서로 다른 링크일 경우 오차가 발생하게 된다. 따라서 실제 네트워크처럼 다중 홉 기반에 다수의 병목 링크와 혼잡 링크가 동시에 존재하고 경쟁 트래픽도 여러 링크에서 유입될 경우 가용 대역폭 측정의 정확도가 상당히 떨어지게 된다.

자가 혼잡 유발 기법들로는 Train of Packet Pair(TOPP)[2], pathChirp[3], Pathload[4] 등이 있다. 이러한 기법들은 전송하는 패킷의 전송량을 높여가면서 전송하는 패킷의 속도보다 수신 측에서 관찰되는 속도가 큐잉에 의해서 작아지는 순간을 관찰하여 가용 대역폭을 측정하는 기법이다.

이러한 기법은 측정 패킷이 겪는 지연을 통해서 가용 대역폭을 측정하기 때문에 병목 링크나 혼잡 링크의 위치에 관계없이 가용 대역폭을 찾을 수 있는 장점이 있다. 따라서 실제 네트워크 상황에 더욱 적합한 모델이라고 할 수 있다. 그러나 혼잡을 유발하기 때문에 측정 패킷 자체가 네트워크에 부하를 많이 주며 측정 시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

3. 제안 기법

본 논문에서 제안하는 방법은 자가 혼잡 유발 기법 중 하나인 Pathload에 기반하고 있다. Pathload는 수신되는 패킷들의 OWD(One Way Delay) 성향을 분석하여 대역폭을 측정한다[4]. 전송하는 패킷의 양을 지속적으로 증가시키다가 혼잡이 발생하여 OWD가 증가하는 성향을 보이면 가용 대역폭의 상한선을 갱신하고 전송 패킷의 양을 줄인다. OWD가 감소하는 성향을 보이면 가용 대역폭의 하한선을 갱신하고 다시 전송 패킷의 양을 늘린다. 이를 반복하면 결국 실제 가용 대역폭에 근접하게 된다.

Pathload의 가장 큰 단점은 측정 속도가 오래 걸린다는 것인데 대역폭이 증가할 때는 별 문제가 없지만, 대역폭이 감소할 때는 재생 중단과 같은 심각한 문제를 초래한다. 이 점을 고려하여 대역폭이 증가할 때는 기존 Pathload의 기법을 그대로 사용하고, 대역폭이 감소할 때 보다 빠르고 정확하게 측정 할 수 있도록 다음과 같은 방법을 제안한다.

가용 대역폭이 감소하는 경향을 보이면 일정 시간 동안 전송된 패킷의 OWD를 구한다. 이 때 전송된 패킷의 크기를 알고 있으므로 식(1)에 의해 현재의 대역폭을 얻을 수 있다.

이 모두 포함되어 있으나, 이를 일일이 계산할 필요는 없다. Pathload에서는 결국 패킷의 OWD가 얼마인지에 대해서만 관심을 갖는다. 이렇게 구해진 대역폭을 새로운 전송률로 설정하고 현재의 대역폭을 상한선으로 갱신한다.

```

If (R(n) > A) /* Increasing trend */
    Rmax = R(n);
    R(n+1) = L(n) / OWD(n);
    
```

그림1. OWD가 증가하는 경향일 때 대역폭을 계산하는 알고리즘

그림1은 본 논문에서 제안한 알고리즘을 나타낸다. R(n)은 현재의 전송률이며, A는 매 순간마다 측정되는 네트워크의 가용 대역폭이다. 현재의 전송률이 가용 대역폭 A보다 클 경우, 즉 경쟁 트래픽의 유입으로 인하여 가용 대역폭이 줄어들었을 경우 현재의 전송률을 새로운 상한선으로 설정하고, 식 (1)을 이용하여 새로운 전송률을 계산한다.

Pathload에서는 OWD가 증가하는 경향일 때 경쟁 트래픽의 양과 상관없이 무조건 $(R^{max} + R^{min}) / 2$ 를 새로운 전송률로 설정한다. 따라서 경쟁 트래픽의 양이 갑자기 크게 늘어나서 가용 대역폭이 기존의 R^{min} 값보다 아래로 떨어질 경우 하한선을 제때 측정하기가 어렵다. 그러나 제안한 알고리즘을 이용하면 경쟁 트래픽의 증가된 양에 따라 새로운 대역폭을 계산하기 때문에, 가용 대역폭의 하락을 제때 반영할 수 있다.

4. 실험 및 성능 평가

실험을 위해 ns-2를 사용하였다[6]. 성능 평가를 위해 망구조를 그림2와 같이 구성하였다.

Pathload에서는 병목 링크에 대한 개념이 없으므로 모든 링크는 100Mbps로 동일하게 설정하였다. 실시간 스트리밍 환경에서 수신 버퍼의 크기는 보통 3~5초 정도로 구현하기 때문에 실험 시간은 5초로 짧게 구성하였다.

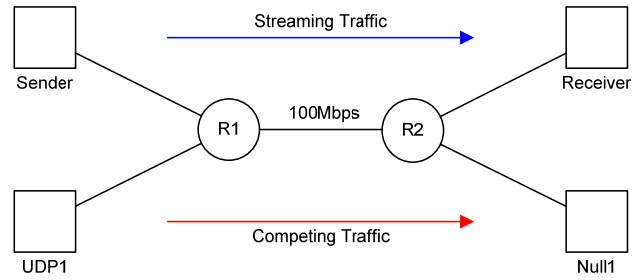


그림2. 실험을 위한 망구조

실험 과정은 다음과 같다. Sender에서 Receiver로 5초 동안 스트리밍 패킷을 CBR (Constant Bit Rate)로 전송한다. Receiver는 일정 간격마다 수신 패킷의 OWD를 분석하여 새로운 전송률을 설정하고 Sender에게 보낸다. 그리고 UDP1에서 Null1으로 2초부터 4초까지 50Mbps의 경쟁 트래픽을 발생시켰다. 이 때 변화되는 가용 대역폭을 얼마나 빠르고 정확하게 측정하는지 알아보기 위하여 기존의 Path-load와 성능을 비교하였다.

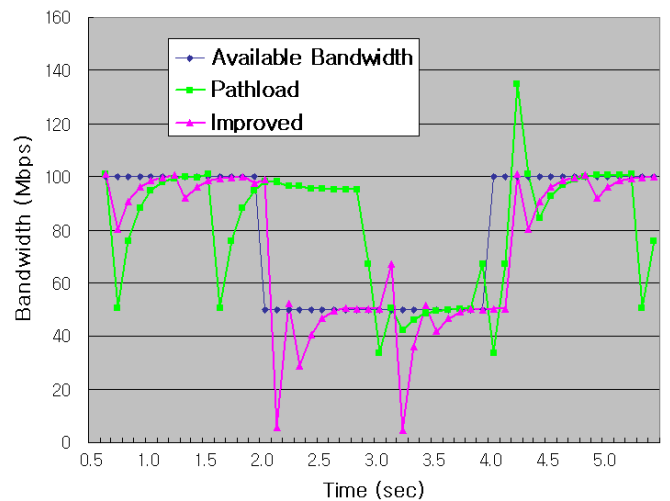


그림3. 경쟁 트래픽 증가에 따른 가용 대역폭 측정 정확도 비교

그림3은 Pathload와 제안 알고리즘에 대하여 경쟁 트래픽 증가에 따른 가용 대역폭 측정의 정확도를 비교한 그래프이다. 각 알고리즘의 그래프가 가용 대역폭(Available Bandwidth) 그래프에 근접할수록 가용 대역폭 측정이 정확하다고 볼 수 있다.

경쟁 트래픽이 일정한 초기 2초 동안 제안 알고리즘이 Pathload에 비해 하한선을 가용 대역폭에 근

그림3은 Pathload와 제안 알고리즘에 대하여 경쟁 트래픽 증가에 따른 가용 대역폭 측정의 정확도를 비교한 그래프이다. 각 알고리즘의 그래프가 가용 대역폭(Available Bandwidth) 그래프에 근접할수록 가용 대역폭 측정이 정확하다고 볼 수 있다.

경쟁 트래픽이 일정한 초기 2초 동안 제안 알고리즘이 Pathload에 비해 하한선을 가용 대역폭에 근접하게 설정하여 더 빨리 가용 대역폭을 찾는 것을 볼 수 있다.

경쟁 트래픽이 유입되는 2초 지점을 보면 제안 알고리즘과 Pathload가 더욱 확연하게 차이가 남을 알 수 있다. 제안 알고리즘에서는 경쟁 트래픽이 유입된 직후 2.2초 무렵에 새로운 대역폭에 근접하고 있으나, Pathload는 거의 1초가 지난 3초 지점에서야 비로소 가용 대역폭이 하락함을 볼 수 있다.

경쟁 트래픽의 전송이 끝나는 4초 지점을 보면 두 가지 알고리즘이 가용 대역폭 상승 시에는 같은 기법을 사용하므로 비슷한 그래프를 그리는 것을 알 수 있다.

실험 결과를 통해 경쟁 트래픽이 일정할 때나 경쟁 트래픽이 급하게 변할 때나 모두 제안 알고리즘이 Pathload에 비하여 경쟁 트래픽을 더욱 빠르게 측정함을 알 수 있다. 다만 경쟁 트래픽이 급작스럽게 유입될 경우 라우터의 대기열에서의 지연이 증가하여 가용 대역폭이 순간적으로 크게 떨어지는 문제가 발생하였는데, 향후 이에 대한 보완이 필요할 것이다.

5. 결론 및 향후 과제

기존의 가용 대역폭을 측정하는 기법들을 나열하고 장단점을 살펴보았다. 단일-홉 갭 모델에 기반한 기법들은 빠르게 가용 대역폭을 측정할 수 있지만 실제 인터넷 환경에서는 오차가 많이 생길 수 있으므로, 정확도가 높은 자가 혼잡 유발 기법 중 하나인 Pathload를 연구 대상으로 삼았다. 실시간 멀티미디어 스트리밍에서는 가용 대역폭의 상승 시점에는 여유가 있는 반면 하락 시점에 민

감한 점에 주목하여, Pathload의 알고리즘에서 가용 대역폭이 하락하는 경우에 대하여 개선된 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘이 Pathload보다 경쟁 트래픽의 양에 관계없이 모두 더 빠르게 가용 대역폭을 측정 함을 확인 할 수 있었다.

앞으로는 망구성 환경과 경쟁 트래픽의 유입을 다양화하고 다른 자가 혼잡 유발 기법들과도 성능을 비교 분석할 예정이다. 또한 실제 구현을 통하여 실제 인터넷 환경에서의 성능을 평가해야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 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.
- [2] Melander, B., Bjorkman, M. and Gunningberg, P., "A New End-to-End Probing and Analysis Method for Estimating Bandwidth Bottlenecks," IEEE Global Internet Symposium, 2000.
- [3] Ribeiro, V., Riedi, R., Baraniuk, R., Nava-til, J. and Cottrell, L., "pathChirp: Efficient Available Bandwidth Estimation for Network Paths, "Passive and Active Measurements (PAM) workshop, 2003.
- [4] Jain, M. Dovrolis, C. "Pathload: A Measurement Tool for End-to-End Available Bandwidth", In Proceedings of Passive and Active Measurements (PAM) Workshop, 2002.
- [5] Seongho Cho, Han Choe, Chong-kwon Kim, "A New Available Bandwidth Measurement Technique with Accurate Capacity Estimation", KISS, VOL.32, NO.4, pp.495-507, 2005.
- [6] ns-2 simulator <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2005.