

Potential Bandwidth Filter를 이용한 Packet Pair Bandwidth Measurement의 수렴 속도 개선

유한승, 장주욱
서강대학교 전자공학과

A Fast Convergence Scheme for Packet Pair Bandwidth Measurement with Potential Bandwidth Filter

Han-seung Yoo, Ju-wook Jang
Dept. of Electronic Engineering, Sogang University

요약

제한된 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 지금까지 대역폭 측정의 중요성이 강조되었다. 특히 Packet Pair 알고리즘과 Potential Bandwidth Filter를 이용한 대역폭 측정은 계산이 쉽고, 빠

기준선을 찾기에 는 느리다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구는 Potential Bandwidth Filter의 기준선을 찾기 위한 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안된 알고리즘이 빠르게 변화하는 네트워크의 대역폭을 측정하기에 적합함을 보였다.

1. 서론

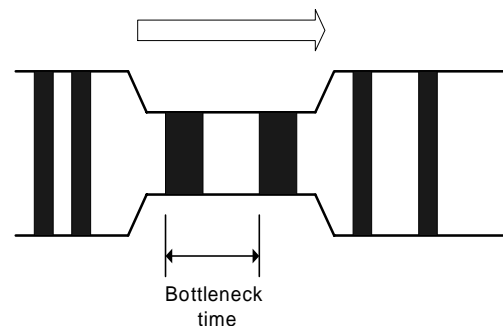
한정된 네트워크의 대역폭에서 안정되고, 고품질의 서비스를 위해서는 네트워크 대역폭의 측정이 중요하다. 이러한 네트워크의 대역폭 정확한 측정을 위한 방법 중 두 개의 패킷의 시간적 간격을 이용하여 네트워크 대역폭을 측정하는 Packet Pair 알고리즘이 세계적으로 활발히 연구 진행되고 있다. 그러나 Packet Pair 알고리즘에서는 두 개의 패킷에 의존하기 때문에, 두 패킷 사이에 다른 패킷이 끼어 들어 생기는 Time Extension나 두 패킷 앞에 큐잉 되어 있는 다른 패킷에 의해 생기는 Time Compression에 의하여 대역폭을 정확히 측정 할 수 없다는 문제가 있다.

이러한 문제를 극복하기 위하여 각종 필터를 사용하는 데, 이 중 Potential Bandwidth와 Measured Bandwidth를 이용하여 그래프적으로 결정하는 Potential Bandwidth Filter(PBF)는 기존의 다른 필터보다 계산이 쉽고, 빠르면서 정확하다는 장점이 있다[1]. 그러나 Potential Bandwidth Filter는 필터를 위한 그래프의 기준선, 즉 대역폭을 나타내는 선에 수렴하는데 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다.

따라서 본 논문은 Potential Bandwidth를 이용한 대역폭 측정에 있어서, Potential Bandwidth Filter의 대역폭 수렴의 시간적 소요 문제를 개선하여, 대역폭 측정을 쉽고, 정확하면서, 실제적으로 빠르게 하고자 하였다.

본 논문 2장에서는 본 논문에서 대역폭 측정시 사용한 Packet Pair 알고리즘과 Potential Bandwidth Filter 방법에 대해 살펴볼 것이다. 제 3장에서는 본 논문의 핵심인 수렴 속도 개선 알고리즘에 대해 살펴보고, 제 4장에서는 시스템을 구현하여 실험한 결과로 제안된 알고리즘의 성능 개선을 보일 것이다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 전체적 결론과 추후과제에 대하여 논 할 것이다.

2. PBF를 이용한 Packet Pair 알고리즘



[그림 1] Packet Pair 알고리즘 동작 원리

2.1 Packet Pair Method

Packet Pair의 기본적인 원리는 다음과 같다. 그림 1과 같이 크기가 같은 연속된 두 패킷은 병목 현상 지역을 통

과 할 때는 두 패킷 사이에 t만큼의 간격이 있다면 이 병목 현상의 대역폭은 식 (1)과 같다.

$$b_b = \frac{s_2}{t} \quad (1)$$

여기서 s_2 는 두 번째 패킷의 크기이고 b_b 는 병목 현상 지역의 대역폭을 나타낸다.

그러나 Packet Pair 알고리즘은 다른 패킷의 방해가 없는 경우를 생각한 것이다. 만약 두 패킷 사이에 다른 s_a 크기를 갖는 패킷이 존재하게 되면 대역폭의 크기는 식 (2)가 될 것이다.

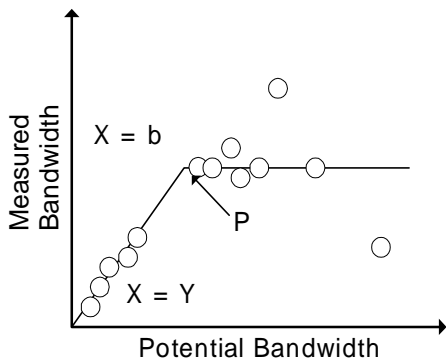
$$b_b = \frac{s_2 + s_a}{t} \quad (2)$$

식 (2)처럼 표현된 대역폭을 Time Extension이라고 한다. 또 다른 문제는 두 패킷 앞에 다른 큰 패킷이 존재하여 두 패킷 간격이 좁아지는 Time Compression 현상이 있다. Time Extension과 Time Compression 현상은 정확한 대역폭 측정에 어려움을 준다.

2.2 Potential Bandwidth Filter

2.1에서 나타난 Packet Pair의 Time Compression과 Time Extension 문제점을 해결하기 위하여 필터를 사용하여 해결한다.

기존 해결 방안은 여러 번의 대역폭 측정을 통해 얻은 값들의 통계적 분산을 통하여 값을 얻는 것이다. 측정된 값들의 유효성은 실제 값의 주위에 몰려 있게 마련이며, 히스토그램을 통해서 쉽게 얻을 수 있다[2]. 그러나 히스토그램을 이용할 경우, 많은 수학적 계산에 따라 속도가 느리다는 단점이 있다.



[그림 2] Potential Bandwidth Filter

또 다른 방안은 Potential Bandwidth(PB)와 Measured Bandwidth(MB)를 이용하는 Potential Bandwidth Filter이다[1]. Potential Bandwidth는 측정 가능한 대역폭의 최대 값이며 Measured Bandwidth는 실제 측정된 대역폭이다. 그리고 측정된 값을 표 2를 통해 Potential Bandwidth와 비교하여 필터를 하면 된다.

MB = P	Actual Bandwidth
MB > P	Time Compression
MB < P	Time Extension

[표 1] Potential Bandwidth Filter 방법

만약 Measured Bandwidth 값이 X=Y에서 값이 나왔다면, 실제 대역폭은 Potential Bandwidth보다 더 큰 것임을 알 수 있다.

따라서 Potential Bandwidth Filter를 이용 할 경우, 표 1을 통해 Measured Bandwidth의 상태 판단이 빠르고, 수학적 계산 또한 적음을 알 수 있다.

3. 수렴 속도 개선

대역폭을 찾기 위하여 그림 2의 Potential Algorithm의 X=b라는 직선을 찾는 것이다. 이 X=b 직선을 찾기 위해 큰 패킷을 이용 할 수 있지만, 초기 큰 패킷의 크기 결정과, 또한 큰 패킷을 이용할 경우 생길 수 있는 패킷 전송 지연과, 패킷 손실을 고려해야 한다. 또한 한 차례의 측정은 2.1에서 언급한 문제에 의한 잘못된 값을 얻을 수 있다는 것도 고려해야 한다. 따라서 최대한 빠르게 X=b 직선의 시작 지점인 P(Knee Point)점을 찾는 알고리즘이 필요하게 되었다.

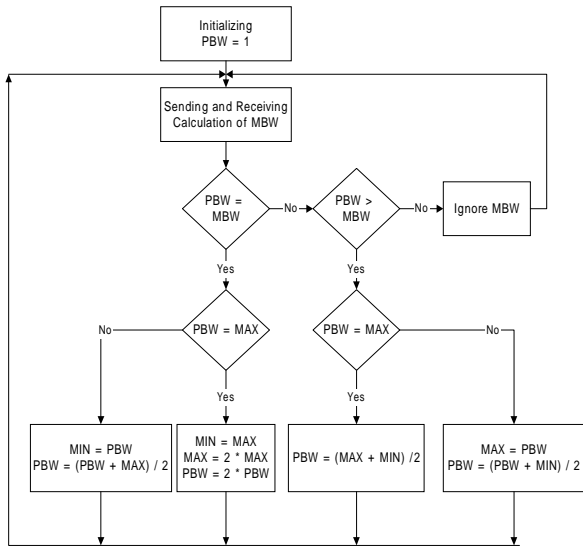
기존의 P점을 찾는 방법은 Potential Bandwidth를 단계적으로 Measured Bandwidth와 비교하여 Potential Bandwidth가 증가해도 Measured Bandwidth가 증가하지 못하는 점 P점을 찾는 방식이다. 그러나 이 방식에서는 증가하는 단계가 작을 경우 P점을 찾는 시간이 많이 걸리고, 증가하는 단계가 큰 경우 정확한 값을 얻기가 힘들다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 처음 증가시 지수적으로 단계의 크기를 증가시키다가, Measured Bandwidth가 Potential Bandwidth 보다 작은 값이 증가율의 반으로 감소시키는 방식을 채택하였다. 이 방법은 빠르고, 정확하게 대역폭을 찾을 것이다.

3.1 제안된 알고리즘

그림 2의 P점을 찾기 위해 상한값과 하한값을 이용한다. 하한값은 올바른 대역폭 값이 존재할 범위의 최저값이며, 상한값은 최고값이다. 따라서 이 범위를 좁혀 나감으로써 대역폭을 얻을 수 있다.

상한값을 찾기 위해 초기의 작은 값에서부터 2의 지수로 증가시켜 나간다. 만약 Potential Bandwidth보다 작은 Measured Bandwidth가 나오면, 상한값과 하한값의 1/2값을 취하여 다시 대역폭을 측정한다. 그림 3은 제안된 알고리즘의 흐름도이다.



[그림 3] 지수적 증가와 1/2 감소 알고리즘 흐름도

그림 3의 흐름도를 통하여 찾은 대역폭 값은 Potential Bandwidth Filter를 기반으로 하여 많은 양은 아니지만 몇 번의 측정에 의하여 나온 값이다. 따라서 Potential Bandwidth에 의한 필터 효과가 있으므로 정확도가 높아진다. 또한 값을 찾기 위한 소요 시간 또한 단축되어진다.

3.2 빠르게 변하는 네트워크 대역폭 측정

네트워크의 대역폭은 빠르게 변한다. 따라서 기존의 Packet Pair 방식에서 값의 유효성을 찾기 위해 수십 수백 번의 측정을 이용하여 대역폭을 찾는 것은 시간적 문제로 현실적으로 어려울 것이다.

본 논문은 3.1에서 제안된 알고리즘을 이용하여 빠르게 변하는 네트워크 대역폭을 측정하였다. 3.1에서 제안된 알고리즘을 통해 구한 대역폭은 어느 시간 경과 후에 구해진 현재의 대역폭의 값에서부터 상한값과 하한값을 재설정하여 다시 측정을 시작하는 방법을 이용하였다. 따라서 측정 소요 시간 면에서 어느 정도의 시간 단축을 볼 수 있고 또한 Potential Bandwidth Filter의 정확도에 의해 빠르게 변하는 동적 대역폭 측정에 적합할 것이다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 시스템

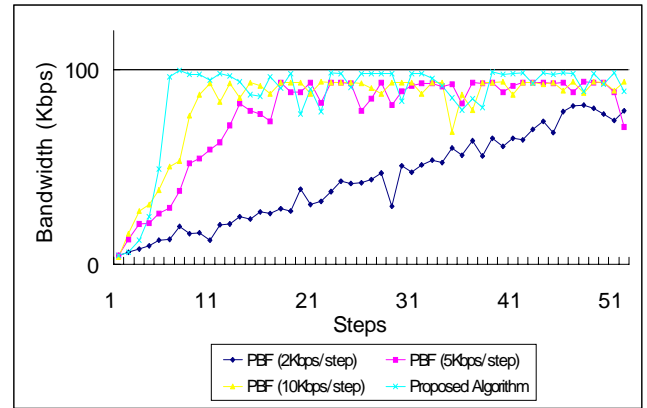
본 논문을 위하여 Pentium-II급 컴퓨터 3대와 리눅스를 운영체제로 하였다.

두 대의 시스템은 송신측과 수신측이며 나머지 한 대의 컴퓨터는 병목 현상을 만드는 시스템으로 송신 측에서 보낸 두 패킷을 원하는 병목지역의 송신율로 수신 측에 보내는 역할을 한다.

본 논문의 실험을 위해 사용된 애플리케이션은 UDP 패

킷을 대역폭 측정 패킷으로 사용했으며, Packet Pair 알고리즘과 Potential Bandwidth Filter 알고리즘을 사용하였고 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 제작되었다.

4.2 실험



[그림 4] 순차적 증가와 지수적 증가에 따른 대역폭 측정

그림 4는 기존 Potential Bandwidth Filter에서 순차적 증가와 순차적 감소 알고리즘의 2Kbps/step, 5Kbps/step, 10Kbps/step의 증가율에 따른 대역폭 측정과, 본 논문에서 제안된 알고리즘에 따른 대역폭 측정의 결과를 나타낸 그래프이다. 실제 대역폭은 100Kbps이다.

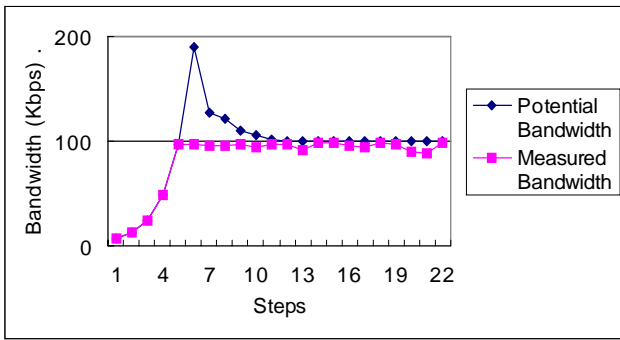
표 2는 두 알고리즘에 따른 대역폭 측정 소요 시간을 나타내었다. 표 2를 통해 제안된 알고리즘에 의한 대역폭의 측정이 기존의 순차적 증가에 따른 대역폭 측정보다 빠름을 알 수 있다.

알고리즘	순차적 (2Kbps/step)	순차적 (5Kbps/step)	순차적 (10Kbps/step)	지수적
시간 (step)	약 55	약 19	약 11	약 6

[표 2] 실험 결과 비교표

순차적 증가의 결과에 따르면 증가율을 증가시킬수록 빨리 실제 대역폭에 도달함을 알 수 있다. 그러나 3절에서 언급했듯이 증가율에 따른 소요시간 문제와, 정확히 측정하기 어렵다는 문제를 안고 있다. 또한 그림 4의 그래프도 나타나는 것처럼 진동 현상이 나타남을 알 수 있다.

그림 5는 제안된 알고리즘의 Potential Bandwidth와 Measured Bandwidth의 값의 변화표이다.

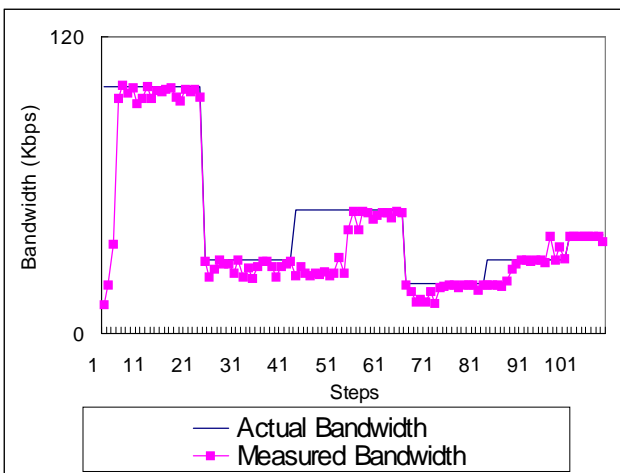


[그림 5] 제안된 알고리즘을 이용한 대역폭 측정

그림 5의 Potential Bandwidth의 움직임을 보면 대역폭을 측정하기 위해 사용한 상한값의 변화를 유추 할 수 있다.

표 1을 통하여 지수적 알고리즘을 사용하여 측정한 경우, 약 5step만에 실제 대역폭에 도달하였음을 볼 수 있다. 그후 6step부터 약 10step까지는 Potential Bandwidth의 대역폭 수렴을 통해 측정된 대역폭의 확인 절차를 한다.

4.3 빠르게 변화하는 네트워크 대역폭 측정



[그림 6] 빠르게 변화하는 네트워크 대역폭 측정

그림 6의 그래프는 빠르게 변화하는 네트워크의 대역폭을 측정한 것이다. 대역폭은 100Kbps, 30Kbps, 50Kbps, 20Kbps, 30Kbps, 40Kbps 순서로 변화였다.

그림 6의 그래프에서 빠르게 변화하는 네트워크 대역폭을 따라가며 측정하는 모습을 볼 수 있다. 이 때 초기의 100Kbps를 찾아가는 모습은 본 논문에서 제안된 알고리즘에 따라 측정되었으며, 다음 대역폭은 알고있는 현재의 대역폭을 기준으로 찾아가는 모습을 볼 수 있다. 그림 6에서 40-50 step 사이와 80-85step 사이에서는 Potential Bandwidth의 상한값과 하한값의 재 설정 시간이 부족해서 인데, 이는 본 논문에서 제안된 알고리즘에서 20step마다 상한값과 하한값이 재 설정하게 되어 있기 때문이다.

5. 결론

대역폭의 측정이 중요해짐에 따라 Packet Pair 알고리즘을 이용한 대역폭의 측정 연구가 활발해 지고 있다. 또한 정확한 대역폭 값을 얻기 위하여 필터의 모델이 제안되었다. 특히 본 문에서 사용한 Potential Bandwidth Filter는 계산이 쉽고, 빠르다는 장점이 있는 반면, 필터를 위한 기준선을 찾는데 느리다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 Potential Bandwidth의 기준선에 더욱 빠르게 수렴하는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 기존 순차적 증가율을 사용한 알고리즘보다 약 45-89% 빠르게 Potential Bandwidth Filter의 기준선에 수렴하는 것을 보였다.

또한 빠르게 변화하는 네트워크 대역폭에 본 논문에서 제안된 알고리즘이 빠르게 대역폭을 측정해 나가는 것을 볼 수 있다.

향후 연구방향은 실제 네트워크에 적용하여 네트워크 부하가 큰 지역에서의 동작에 대하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가해야 할 것 같다. 또한, 빠르게 변화하는 네트워크 대역폭 측정에 있어서, 효율적인 상한값과 하한값의 재설정 시간을 찾는 연구가 계속 되어야 할 것 같다.

6. 참고 문헌

- [1] Kevin Lai, Mary Baker, Measuring Bandwidth, In proceedings of the IEEE INFOCOMM99, 1999
- [2] Robert L. Carter, Mark E. Crovella, Measuring Bottleneck Link Speed in Packet-Switched Networks, Technical Report BU-CS-96-007, Boston University, 1996
- [3] Robert L. Carter, Mark E. Crovella, Dynamic Server Selection using Bandwidth Probing in Wide-Area Networks, Technical Report Bu-CS-96-006, Boston University, 1996
- [4] Vern Paxson, End-to-End Internet Packet Dynamics, In Proceedings of SIGCOMM, 1997
- [5] Srinivasan Keshav, A control-theoretic approach to flow control. In Proceedings of SIGCOMM, 1991
- [6] W. Richard Stevens, TCP/IP Illustrated Vol.1, Addison-wesley, 1994