

# 빠르고 안정적인 인터넷 병목 대역폭 측정기법

박홍기\*, 장주욱\*

\*서강대학교 전자공학과

e-mail : parkhongki@naver.com, jjang@sogang.ac.kr

## A Fast and Robust Scheme for Measuring Internet Bottleneck Bandwidth

Hong-Ki Park\*, Ju-Wook Jang\*

\*Dept of Electronic Engineering, So-Gang University

### 요 약

제한된 네트워크 자원을 효율적으로 활용하기 위해서는 네트워크의 대역폭 측정이 선행되어야 한다. 대역폭의 측정을 위해서 다양한 방법이 제시되었으며 Yoo Han-seoung이 제안한 Fast Convergence Scheme[1] 방식은 적은 계산량으로 빠르고 정확하게 대역폭을 찾을 수 있었으나 네트워크의 변동에 민감하게 반응하는 문제점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 Fast Convergence Scheme 방식에서의 오류 측정값에 대한 안정성을 높이는 알고리즘을 제안하였다.

### 1. 서론

네트워크 학계에서는 인터넷 경로상의 가용 대역폭 (available bandwidth)을 측정하려는 연구가 활발하다. 고로, 대역폭의 측정을 위해 여러 가지 방안이 제시되었으며 그 방안들 중 Fast Convergence Scheme [1] 방식은 대역폭을 찾는 영역을 지속적으로 증가, 감소시키는 방법으로 대역폭을 찾기 때문에 단계적으로 대역폭 영역을 증감 시키는 방법보다 빠르게 대역폭을 찾을 수 있었다. 그러나 Fast Convergence Scheme 방식은 대역폭을 찾기 위해 단기간 동안 대역폭 영역을 크게 변화시키기 때문에 찾고자 하는 대역폭 값이 대역폭 영역의 상한값이나 하한값에 가까운 경우 네트워크의 변동에 의한 측정 오류에 의해서 대역폭 영역이 크게 변화하는 점과 대역폭이 안정화된 상태에서도 단 한번의 측정 오류에 의해서 정확한 대역폭을 결정하는 수렴과정을 다시 반복해야 하는 단점이 있었다.

따라서 이 논문은 Fast Convergence Scheme으로 대역폭을 측정하는 방법을 개선하여 대역폭의 변화에 좀 더 유연하게 반응하며 측정 오류에 대한 안정

성을 높이고자 하였다.

본 논문의 제 2장에서는 제안된 알고리즘과의 성능 비교, 분석을 위해 사용된 Fast Convergence Scheme 방식과 이 방식의 근간이 되는 Potential Bandwidth Filter[2][5] 알고리즘에 대해서 살펴보고, 제 3장에서는 본 논문의 핵심인 안정성 개선 알고리즘에 대해 살펴보고, 제 4장에서는 시스템을 구현하여 제안된 알고리즘의 성능 개선을 실험을 통하여 보일 것이다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 전체적 결론과 추후과제에 대하여 논할 것이다.

### 2. 기존 알고리즘의 문제점

#### 2.1 Potential Bandwidth Filter(PBF)를 이용한 방법

Potential Bandwidth Filter 알고리즘은 반복적인 대역폭 측정 결과가 네트워크의 실제 대역폭에 근사한다는 논리[3]를 근거로 하여 그림 1과 같이 Potential Bandwidth와 Measured Bandwidth를 비교하여 대역폭을 찾아가는 방법을 말한다.

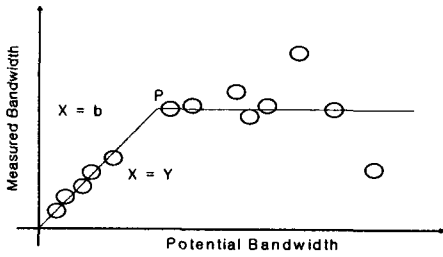


그림 1 Potential Bandwidth Filter 방식

표 1과 같은 기준을 바탕으로 측정된 값을 필터링 함으로서 측정 오류값을 배제함으로써 실제 대역폭을 찾는 데 필요로 하는 계산 양을 줄이게 된다.[2]

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

표 1 PBF에서 패킷을 필터링 하는 조건

Time Compression은 실험 패킷 쌍의 앞에 다른 패킷들이 간섭하여 실제보다 대역폭이 작게 측정되는 것이고 Time Extension은 실험 패킷 쌍의 사이에 다른 패킷들이 간섭하여 실제보다 대역폭이 크게 측정되는 현상을 말한다.[5]

## 2.2 Fast Convergence Scheme(FCS)

그림 1에서 대역값을 찾는 영역의 단위 크기가 작을 경우에는 실제 대역 값까지 수렴해 가는데 오랜 시간이 소요될 수 있다. FCS 알고리즘에서는 이를 개선하여 대역값을 찾는 영역을 지수적으로 증가시키고 수렴할 때 역시 지수적으로 감소함으로써 대역폭을 보다 빠르게 찾을 수 있었다.

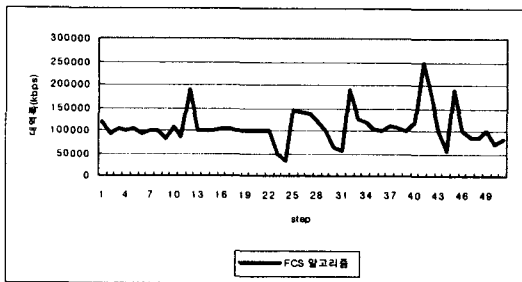


그림 2 FCS로 안정화된 대역폭 측정 결과

그러나 대역폭 영역을 지수적으로 증가, 감소시키기 때문에 측정 오류가 발생했을 경우 대역값 또한 실제 대역값과 큰 차이를 보이게 된다.

그림 2는 대역폭이 일정한 경우를 FCS 방법으로 측정된 결과이다. 대역폭이 일정하므로 대역폭 영역은 수렴하게 되고 측정 대역폭 영역이 작아지기 때문에 측정 오류에 의해서 대역폭 영역이 재설정되어 크게 증가되거나 감소할 확률이 크다. 이는 대역폭 영역을 증감시키는 조건이 대역폭 영역과 측정값과의 관계에 의해서 결정되기 때문이다.

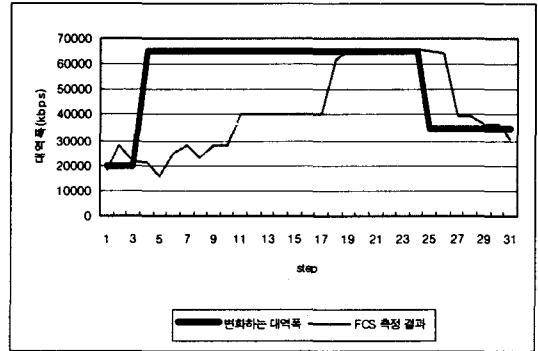


그림 3 FCS로 변화하는 대역폭 측정

그림 3은 빠르게 변화하는 대역폭을 측정된 결과이다. 측정 오류가 발생하였음에도 불구하고 대역폭 재설정을 바로 실시하여 실제 대역폭보다 낮은 값에서 수렴을 시도하였기 때문에 정확한 대역폭을 측정하는데 오랜 시간이 걸렸음을 알 수 있다.

측정 오류에 의한 대역폭 측정의 부정확성은 대역폭 측정 성능을 저해하므로 개선이 필요하다.

## 3. 제안된 알고리즘 (안정성 개선)

기존의 알고리즘에서는 대역폭의 영역을 지수적으로 증가시키기 때문에 선형적으로 대역폭을 찾는 방식보다 실제 대역폭에 빠른 속도로 접근하며 영역을 확정된 뒤 정확한 대역폭 값으로 수렴해 가는 경우 역시 지수적으로 대역폭 영역을 감소시키기 때문에 빠르게 대역폭을 찾아낸다. 그러나 측정하고자 하는 실제 대역폭이 대역폭 영역의 상한-하한값에 근접하여 존재하는 경우 네트워크상의 측정 오류에 의해 대역폭 영역을 재설정 할 때 대역폭 영역이 진동하는 현상을 가져오게 된다.

따라서 본 논문에서는 이를 방지하기 위하여 대역폭 영역을 변화시키는 시간을 늦추는 방안과 수렴해 가는 영역을 측정값 중심으로 재설정하는 방안으로 위 문제를 해결하고자 한다.

### 3.1 예측 대역폭 범위 수렴 방안의 개선

그림 4에서와 같은 알고리즘에 의하여 대역폭 값을 가늠하고 정확한 값을 측정한다. 반복적으로 링크의 대역폭을 측정하며 지수적으로 대역폭 영역을 변화시키면서 대역폭을 찾아간다. 대역폭 영역의 증가와 수렴에 대한 판단은 측정된 값에 의해서 좌우된다.

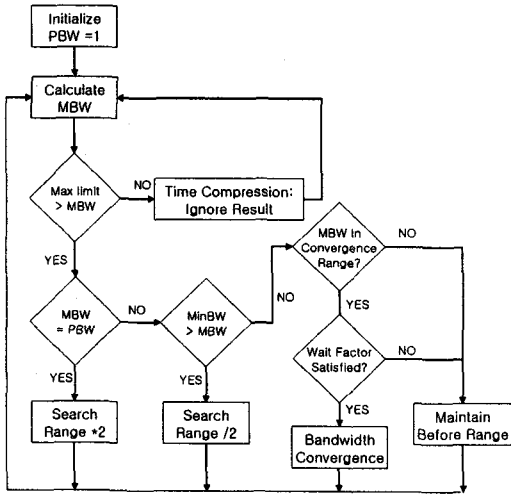


그림 4 Bandwidth Search Procedure

대역폭 값을 수렴하는 과정은 그림 5와 같은 방식을 적용하였다. 대역폭 영역의 상한값과 하한값을 측정된 값을 중심으로 전 단계의 대역폭 영역의 1/2로 감소시킨다.

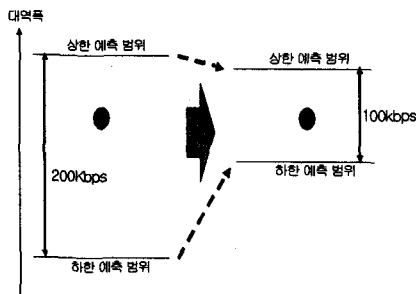


그림 5 대역폭 측정 범위 수렴 과정

### 3.2 예측 범위의 재설정 빈도수 조정

기존의 방식에서는 측정 오류에 대해 민감하게 반응하여 대역폭 영역이 크게 진동하는 경향이 있었다. 이를 방지하기 위하여 대역폭이 측정 되었어도 바로 대역폭 영역을 재설정하지 않고 연속적인 측정값의 상태를 관찰하여 대역폭 영역의 재설정을 결정

함으로서 측정 오류에 의한 대역폭 영역의 진동을 방지하고 빠르게 올바른 대역폭을 측정할 수 있도록 하였다. 즉, 기존 알고리즘에서는 예측 대역폭 범위를 증가시키거나 감소시키는 조건에 이르게 되면 바로 대역폭 영역이 바뀌었으나 제안된 알고리즘에서는 같은 조건을 만족하는 결과가 정해진 변수만큼 반복되어야만 대역폭 영역을 재설정하는 방식이다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 실험 시스템

본 논문을 위하여 펜티엄-600MHz 급 컴퓨터 세대를 사용하였다. 두 대의 컴퓨터는 각각 실험을 위한 패킷 송신단과 수신단을 담당하며 나머지 한 대의 컴퓨터는 대역폭을 설정과 실험을 컨트롤하는 컴퓨터이다. 어플리케이션은 UDP패킷을 대역폭 측정 패킷으로 사용했으며 Packet Pair 알고리즘과 PDF 알고리즘과 FCS 알고리즘을 사용하였고 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 제작되었다.

### 4.2 측정 안정성 실험

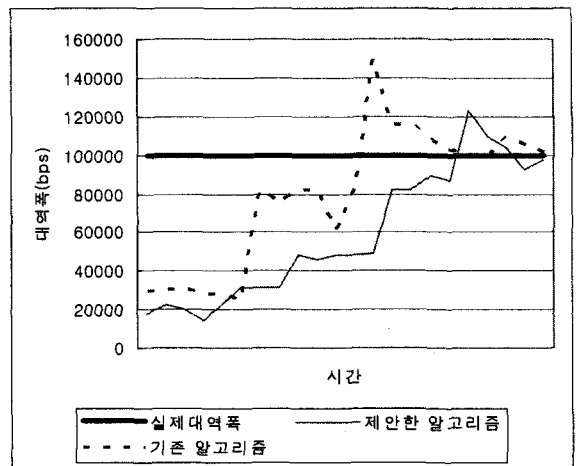


그림 6 대역폭 측정 시간의 비교

그림 6은 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 대역폭을 찾는 속도를 비교한 그래프이다. 제안한 알고리즘에서는 대역폭 영역을 재설정하기 위해서 이전에 측정된 결과 값도 계산하기 때문에 기존의 방식보다 약간 느리게 대역폭을 찾는 것을 알 수 있다. 위에서는 대역폭 영역의 재설정을 위해서 이전 측정 결과를 하나만 계산하는 것으로 설정하였다.

그러나 제안된 알고리즘의 반응 속도가 너무 늦을 경우 변화하는 네트워크 대역폭을 따라가지 못할 가능성을 배제할 수 없다. 이를 검증하기 위해서 빠르게 대역폭이 변화하는 네트워크에서 대역폭을 측정하는 실험을 하였다.

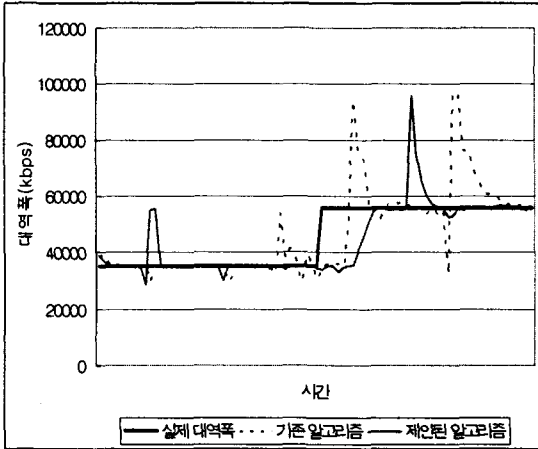


그림 7 변화하는 대역폭에서의 성능 비교

그림 7에 의하면 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 약간 늦은 속도로 대역폭을 찾지만 기존의 알고리즘만큼 빠르게 변화하는 대역폭을 잘 따라가고 있는 것을 알 수 있다.

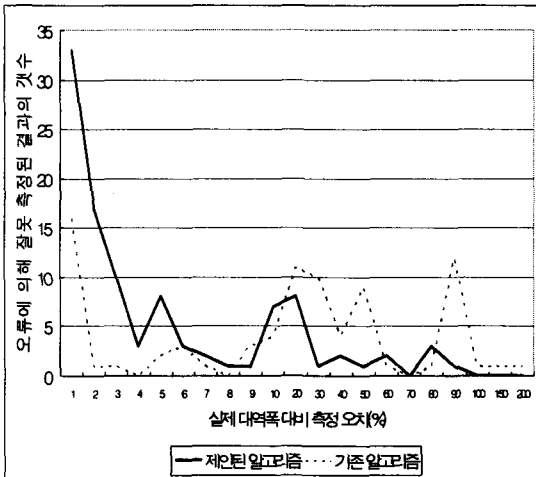


그림 8 알고리즘의 측정오류에 의한 영향 비교

그림 8은 측정 오류가 발생할 경우 대역폭 측정이 실제 대역폭과 얼마나 차이가 있는가에 대한 통계이다. 대역폭은 100kbps으로 설정하였으며 대역폭 측정을 500번 반복하였다. 제안된 알고리즘의 실제 대역폭 대비 측정 오차 분포 성향이 기존의 알고리

즘보다 낮은 쪽으로 편향되어 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 측정 오류에 의해서 대역폭을 잘못 측정하는 성향이 적음을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 추후 과제

대역폭의 측정을 위해서 여러 가지 방법들이 제안되고 있으며 Fast Convergence Scheme에서는 측정하고자 하는 대역폭을 다른 알고리즘보다도 빠르게 찾을 수 있는 장점이 있었으나 측정 오류에 대해서 대역폭 영역이 민감하게 변하는 단점이 있었다.

따라서 본 논문에서는 Fast Convergence Scheme에서의 측정 속도를 유지하면서도 안정성을 더욱 강화하는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 대역폭 측정 오차가 약 23~31% 감소한 것으로 나타났다.

향후 연구방향은 네트워크의 변동성이 큰 지역에 적용하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가해야 할 것이다. 또한 효율적인 대역폭 대기 설정과 수립 정도에 대한 연구가 계속 되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Han-Seung Yoo, Ju-Wook Jang, An improved packet pair method for filtering estimation noise and fast convergence in measuring bottleneck bandwidth, Parallel and Distributed Systems, 2001. ICPADS 2001
- [2] Kevin Lai, Mary Baker, Measuring Bandwidth, In proceeding of the IEEE INFOCOMM99, 1999
- [3] Robert L.Carter, Mark E. Crovella, Measuring Bottleneck link speed in Packet Switched Network, Technical Report BU-CS-96-007, Boston University, 1996
- [4] Vern Paxson, End to End Internet Packet Dynamics, In Proceeding of SIGCOMM97, 1997
- [5] Kevin Lai, Mary Baker, Measuring Link Bandwidths Using Deterministic Model of Packet Delay, In Proceeding of SIFGCOMM00, 2000
- [6] W. Richard Stevens, TCP/IP illustrated Vol.1 addison-wesley, 1994