

# 서브네트 ATM 모델에서 ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송

正會員 김 우 준\*, 이 병 기\*

## On Supporting TCP Traffic over ABR Connections in the Subnet ATM Model

Woo-June Kim\*, Byeong-Gi Lee\* *Regular Members*

※본 논문은 HAN/B-ISDN 단말 분야 광대역 단말기 개발 과제의 일환으로 수행되었음.

### 요 약

본 논문에서는 ATM 링크가 전체 연결 경로의 일부분을 형성하는 서브네트 ATM 모델(subnet ATM model)에 있어서 ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송에 관한 연구를 한다. ABR 연결을 이용한 경우에는 지능적인 관문(gateway) 체증 제어 알고리즘을 사용하므로써 수율 및 공정성을 개선할 수 있음을 보인다. ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송의 성능이 좋지 못한 이유가 근본적으로 ABR의 전송률 기반 체증 제어 기능과 TCP의 윈도우 기반 체증 제어 기능이 잘 맞지 않기 때문이라는 점에 착안하여 ABR + FB(Fair Buffering) 관문 체증 제어 기법을 제안한다. 제안된 ABR + FB 기법은 ABR 연결상의 TCP 전송 성능을 수율 및 공정성 양면에서 개선할 수 있음을 보인다. 또한 ATM 망에서 사용되는 ABR 전송률 할당 알고리즘도 전체 성능에 많은 영향을 준다는 것도 모의 실험을 통해서 보인다.

### ABSTRACT

In this paper, we study the use of ABR connections for the efficient support of TCP traffic over paths where ATM is only a single link in the whole path, namely the subnet ATM model. We show that when ABR connections are used, both throughput and fairness may be improved by using intelligent gateway congestion control mechanisms. Specifically, we propose the ABR + FB(Fair Buffering) gateway congestion control scheme based on the observation that the poor performance of TCP over ABR connections is mainly due to the mismatch be-

\*서울대학교 전기공학부  
論文番號: 97379-1017  
接受日字: 1997年 10月 17日

tween the ABR rate control mechanism and the TCP window based congestion control mechanism. We show that the proposed ABR +FB mechanism improves the performance of TCP over ABR connections with respect to both throughput and fairness. We also show that the ABR rate allocation scheme used in the ATM network also has a large effect on the performance.

## I. 서 론

ATM 망에서 TCP 트래픽을 전송하는데 있어서 두 가지 모델이 있다. 하나는 종단간 ATM 망을 가정하는 종단간 ATM 모델(end-to-end ATM model)이고, 또 하나는 ATM 망이 전체 연결 경로 중 일부만을 형성하는 서브네트 ATM 모델(subnet ATM model)이다. 그림 1(a)과 (b)는 각각 이들을 보인 것이다.

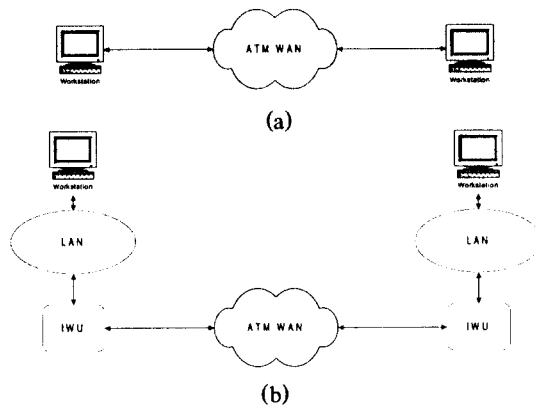


그림 1. ATM 망에서 TCP 전송을 위한 두 모델:(a) 종단간 ATM 모델, (b) 서브네트 ATM 모델.

Fig. 1 Two models for transporting TCP over ATM:(a) end-to-end ATM model, (b) subnet ATM model

본 논문에서는 다음과 같은 가정 하에 서브네트 ATM 모델에 대해서 연구를 하고자 한다. 1) 모든 호스트들은 고속 프레임 기반 LAN에 연결되어 있다. 2) ATM망과 LAN사이에는 관문들이 있다. 3) LAN들은 비교적 작고, ATM망들은 커서, ATM망내의 지연이 LAN내의 지연보다 매우 크다. 4) LAN내의 패킷 손실률이 매우 작고, 손실은 주로 버퍼 크기가 한정되어 있는 관문 또는 ATM망내에서 일어난다. 5) 관문을 통해서 외부로 나가는 연결들은 모두 TCP 연결들이다.

서브네트 ATM 모델에 있어서 TCP의 성능은 여러 가지 요소의 영향을 받는다. 하나는 연결(connection) 자체의 성질이며, 이것은 사용되는 ATM 연결 종류 그리고 ATM 교환기 및 관문에서 사용되는 체증 제어 기법에 의해서 결정된다. TCP 트래픽 전송을 위해 사용할 수 있는 ATM 연결 종류로는 UBR 서비스와 최근에 정의된 ABR 서비스가 있다[1]. 또 다른 영향을 주는 요소는 TCP내에 사용되는 TCP 체증 제어 기법이다[2][3]. TCP 체증 제어 기법에는 두 가지 문제가 있다. 하나는 긴 경로의 연결들에 대해서 차별한다는 점이고, 또 다른 하나는 여러 개의 체증된 교환기/관문을 지나는 경로를 가진 연결들에 대해서 차별한다는 점이다[4]. ATM이 백본망으로 사용되는 예가 증가함에 따라 이러한 차별 대우가 문제를 일으킬 수 있는 상황이 더 많이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제들에 대한 해결책으로서 관문에서 사용할 수 있는 버퍼 관리 기법들에 대해서 연구하고자 한다. 관문이 ABR에 의해 각 연결에 할당되어 있는 전송률을 알고 있다는 점과 ABR 체증 제어 기법이 ATM 망내의 체증에 의한 큐를 망의 접면 부분, 즉, 관문으로 밀어낸다는 점을 주목하여 새로운 해결 방안을 제시하고자 한다. 이와 같은 지능적인 체증 제어 기법을 관문에 사용하게 되면 전체적인 성능 향상을 가져올 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2절에서는 ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송에 있어서의 문제점을 분석하고, 이것을 바탕으로 3절에서는 새로운 체증 제어 기법을 제안한다. 끝으로 4절에서는 모의 실험을 통해서 제안된 기법의 성능을 분석한다.

## II. ABR 연결을 이용한 TCP 전송 성능 분석

ATM망에서 TCP 전송을 위해 ABR 연결을 사용하면 그 성능이 향상될 것이라고 쉽게 예상할 수 있다. 가장 간단한 방법은 아무런 특별한 체증 제어 기

법을 사용하지 않고 ABR 연결을 그대로 사용하는 것이다.(본 논문에서는 이 방법을 ABR + 기법이라 부르도록 하겠다.) 이 기법의 주된 특징은 오로지 ABR 체증 제어 기법에 의존하고 다른 체증 제어 기법을 사용하지 않는다는 점이다.

ABR 체증 제어 기법은 각 연결에 대역폭이 공평하게 나누어지도록 설계되므로 공평하고 효율적인 대역폭 할당이 이루어질 것이라고 쉽게 생각할 수 있다. 또 ABR 체증 제어 기법은 셀 손실률은 최소화하도록 규정되어 있으므로 ATM 망에서 TCP의 성능을 떨어뜨리는 '분할 효과(fragmentation effect)'는 별 영향을 미치지 않게 될 것이다. 실제로, 종단간 ATM 모델에 있어서 이런 성질들이 성립한다는 것은 이미 여러 논문에서 발표되었다[5][6]. 그러나 서브네트 모델 경우에도 이 성질들이 그대로 적용된다고 볼 수는 없다. 그 이유는 ATM 망 접면에 있는 관문이 망에서 오는 귀환 정보를 차단하게 되므로 체증 정보가 종단에 있는 TCP 호스트에 전달되지 않기 때문이다. 이것은 결국 ABR 체증 제어의 동작을 무위화하는 결과를 낳는다. 즉, ABR 체증 제어 기법을 사용할 경우에 종단 호스트가 ABR 귀환 정보에 따라 출력 전송률을 즉시 조절할 것으로 망은 기대하나, 실제로 서브네트 모델에서는 관문은 전송률을 조절하겠지만, TCP 호스트는 관문의 큐가 넘칠 때까지 이 사실을 모른다. 그리고 큐가 넘쳐 패킷이 손실되더라도, 특별한 버퍼 관리 기법을 사용하지 않는 한, 반드시 문제의 연결에 소속된 패킷이 손실된다는 보장이 없으므로 오히려 엉뚱한 연결이 전송률을 낮추게 될 가능성도 있다. 이와 같은 현상은 길이가 서로 다른 연결들이 하나의 버퍼를 공동 사용할 때 더 심각해지며, 특히 짧은 길이의 연결들이 대역폭을 독점하는 사태가 일어난다. 결과적으로, ABR 체증 제어 기법은 대역폭을 공평하게 할당할 수는 있으나, 그 할당된 대역폭이 효율적으로 이용된다는 것은 보장할 수 없다. 이와 같은 문제는 근본적으로 ABR의 전송률 기반 체증 제어 기법과 TCP의 윈도우 기반 체증 제어 기법이 서로 잘 맞지 않기 때문에 일어나는 것이다.

ABR 전송률 제어가 ATM 망내의 체증에 의한 큐를 망의 접면으로 밀어내게 된다는 사실을 주목하면 이 문제 해결의 실마리를 찾을 수 있다. 즉, 서브네트 ATM 망 모델에서 ABR 연결을 사용할 경우에는 관

문이 그 연결 경로 상에 존재하는 유일한 체증점이 되므로, ABR 전송률 귀환 정보 등을 이용하는 지능적인 관문 체증 제어 기법을 설계하도록 하는 것이다. ABR 기법은 대역폭을 공평하게 할당하는 역할을 하므로, 새로운 체증 제어 기법은 할당된 대역폭을 완전히 사용할 수 있도록 버퍼를 공평하게 할당하는 역할을 하면 되는 것이다.

그렇다면 여기서 중요한 문제는 우선 공평 버퍼 할당을 어떻게 정의하느냐 하는 문제이다. 참고 문헌 [7]에서는 TCP Reno를 ABR 연결로 전송할 경우, 버퍼 크기 (=B), 왕복 시간 RTT (=τ), 대역폭 (=μ) 그리고 수율 (=λ) 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립함을 보였다.

$$\alpha = \frac{\beta^2 + \beta + 1}{(\beta + 1)^2} \quad (2-1)$$

단,  $\alpha (= \lambda/\mu)$ 는 수율과 할당된 대역폭의 비이고,  $\beta (= B/\mu\tau)$ 는 대역폭·지연의 곱으로 정규화시킨 버퍼 크기이다. 이 관계식의 주요 특징은  $\alpha$ 가 정규화된 버퍼 크기  $\beta$ 에만 의존한다는 점이다. 이것은 대역폭이 정해져 있을 경우, 수율은 오직 버퍼 크기에 의해서 결정된다는 것을 뜻한다. 이 관계식을 도식하면 그림 2에 보인 것과 같다. 이 그림에 의하면 버퍼크기가 대역폭·지연의 곱만큼 되어야 100% 링크 사용 효율을 얻

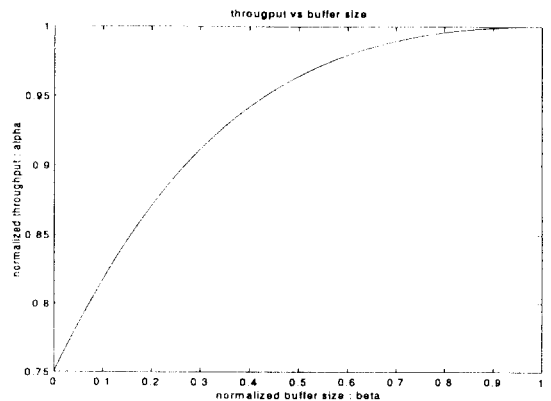


그림 2. 공식 (2-1) 그래프: 단일 큐를 지나는 TCP 연결의 정규화된 수율 및 정규화된 버퍼 크기의 관계.

Fig. 2 Graph of equation (2-1): The relationship between the throughput of a TCP connection going through a single queue and the normalized buffer size.

을 수 있게 된다. 따라서 개별 TCP 연결들이 정해진 대역폭을 할당받고, 또 각 연결에 대역폭·지연 곱에 해당하는 버퍼가 할당될 때, 그 할당된 대역폭을 완전히 사용할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같은 분석을 바탕으로 다음 절에서는 TCP 연결의 수율 및 공평성을 동시에 향상시킬 수 있는 방안을 제시하도록 하겠다.

### Ⅲ. ABR + FB 기법

앞에서 설명했듯이 ABR + 기법의 성능이 좋지 못한 것은 기본적으로 ABR 및 TCP에서 사용되는 체중 제어 기법들이 서로 잘 맞지 않기 때문이다. ABR 연결을 사용하는 것이 제대로 효과를 발휘하려면 전송률 귀환 정보를 관문에서 사용할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 본 절에서는 전송률 귀환 정보를 이용해서 할당 대역폭을 완전히 사용할 수 있게 해주는 공평 버퍼 할당 기법을 제시하도록 하겠다.(앞의 기법에 구분해서 이 기법을 ABR + FB 기법이라 부르도록 하겠다.)

ABR + FB(Fair Buffering) 기법은 기본적으로 다음 두 가지 관점에 바탕을 두고 있다. 우선, 앞에서 논의했듯이 고정된 대역폭으로 서비스를 받는 TCP 연결의 수율은 정규화된 버퍼  $\beta$ 에 의해서 결정된다는 점이다. 즉, 각 연결이 할당된 대역폭을 공평하게 사용할 수 있기 위해서는 각 연결에 할당된 버퍼 크기가 대역폭·지연 곱 값에 비례해야 하는 것이다. 둘째는, TCP 체중 제어 기법은 패킷 손실이 균집을 이루지 않고 고루 퍼져 있을 때 그 성능이 가장 좋다는 점이다. 그런데 TCP Reno의 성능은 체중 기피 주기(congestion-avoidance cycle)동안 한 개의 패킷 손실이 있을 때 가장 우수한 것으로 알려져 있다[2]. 그러므로 체중 기피 주기 동안 전송되는 패킷 수가  $N_{ca}$  이면, 손실 패킷 사이에  $N_{ca}$  개의 패킷이 전송되면 성능이 제일 좋게 된다는 것을 알 수 있다.

제안하고자 하는 ABR + FB 기법은 그림 3에 나타낸 것과 같다. 이것은 크게 네 가지 단계로 구분된다. 먼저, 초기화 단계에서 각종 변수들을 초기화하고, 두 번째 단계에서 대역폭의 평균을 계산하며, 세 번째 단계에서는 대역폭·지연 값의 변화에 따라 달라지는 변수들을 새로 계산하고, 마지막 단계에서는 각 패킷마다 폐기여부를 결정한다.

```

1) 초기화
   FirstCyclei = TRUE ;
   NumPkti = 0 ;
   QThreshi = BSize ;
   WThreshi = BSize ;

2) 귀환 RM 셀을 받는 경우
   BwAvgi = (1 - ωFB) × BwAvgi + ωFB × ACR ;
   BwDlyi = BwAvgi × RTTi ;

3) Nfb 패킷을 전송할 때마다
   if FirstCyclei is TRUE
     QThreshi = InitThresh / 4 ;
     WThreshi = BwDlyi ;
   else
     QThreshi = InitThresh / 4 ;
     WThreshi = max ( 2, BwDlyi / 4 ) × BwDlyi ;

4) 전송할 패킷을 받을 때마다
   if QLeni > QThreshi and NumPkti > WThreshi
     drop packet ;
     NumPkti = 0 ;
     FirstCyclei = FALSE ;
   else
     NumPkti = NumPkti + 1 ;
    
```

그림 3. ABR + FB 알고리즘 ( $BSize$ : 최대 버퍼 크기,  $BwAvg_i$ : 연결  $i$ 의 예측 대역폭,  $ACR$ : 연결의 할당 대역폭,  $RTT_i$ : ATM 연결의 지연 시간,  $QLen_i$ : 연결의 큐 길이,  $NumPkt_i$ : 최근 손실 패킷 이후 전송된 패킷 수)

Fig. 3 The ABR + FB Algorithm ( $BSize$ : maximum buffer size,  $BwAvg_i$ : Estimated bandwidth of connection  $i$ ,  $ACR$ : rate allocated to connection  $i$ ,  $RTT_i$ : round trip time of connection  $i$ ,  $QLen_i$ : queue length of connection  $i$ ,  $NumPkt_i$ : number of connection  $i$  packets transmitted since last drop)

이 알고리즘을 설계하는데 있어서 여러 가지 사항들을 고려되었으며, 그 각각을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

우선, 실제로 ABR 기법을 이용하면 할당된 대역폭은 시간 따라 계속 변하게 된다. 그러므로 이러한 변화에 의한 요동을 최소화하고 또한 계산량을 줄이기 위해서 할당 대역폭의 지수적 하중 평균(exponential weighted average)을 이용한다. 또 같은 이유로 중요한 큐 문턱값  $QThresh_i$ 과 주기 문턱값  $WThresh_i$ 는  $Nfb$  패킷마다 계산한다. 버퍼 크기를 대역폭·지연 곱에

비례해서 할당해야한다는 점은 QThresh에 반영되어 있고, 한 체중 기피 주기 동안에는 한 개의 패킷만 잃도록 해야 한다는 점은 WThresh에 반영되어 있다. WThresh의 값으로는 참고 문헌 [7]에 나와있는  $Nca$ 의 하한값인  $BwDly/4$ 을 이용한다.

패킷 손실을 분산시키기 위해서 패킷 손실 후 관문을 지나가는 패킷 수를 계속 기록한다. 지나간 패킷 수가 WThresh 보다 커지면 하나의 체중 기피 주기가 끝났다고 생각하고, 만약 이 때 큐의 길이가 QThresh 보다 크면 패킷을 폐기한다. TCP 연결이 맨 처음 시작시 거치는 느린-시작(slow-start) 주기 단계에서의 기하급수적 윈도우 확장 때문에 생길 수 있는 패킷 군집과 그 영향으로 생기는 군집성 손실에 의한 성능 저하를 막기 위해서 연결 초기에는 QThresh 및 WThresh의 값을 보통 때보다 작은 값으로 설정한다. 연결 초기인지 아닌지는 FirstCycle 변수를 통해서 안다. 이 방법을 사용함으로써 기하급수적인 윈도우 확장이 군집성 패킷 손실을 일으키기 전에 단일 패킷 손실을 일으켜, TCP 윈도우가 원활하게 커지고 타임아웃 등이 발생하지 않도록 한다.

ABR + FB 기법은 기본적으로 대역폭·지연 곱의 값에 바탕을 두고 있다. 연결에 할당되어 있는 대역폭이 정해져 있지 않고 연결의 지연도 고정되어 있지 않는 전통적인 "최선-노력(best-effort)" 망에서는 대역폭·지연 곱을 계산하는 것이 불가능했다. 그러나 ABR 연결을 사용할 경우에는, 비록 시간따라 그 값이 변하지만, 각 연결에 할당되어 있는 대역폭이 정해져 있다. 또 ATM은 기본적으로 연결성 망 프로토콜이므로 각 연결의 고정 지연은 알려져 있다. 물론 대역폭의 값이 정확하지 않고, 또 지연 값도 고정 지연 외에 큐잉에 의한 가변 지연도 있으므로 값이 정확하지 않다. 그러므로 계산된 대역폭·지연 곱 값은 정확하지는 않게 된다. 그러나 다음 절에 소개할 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 이것이 큰 영향을 미치지 않는다. 그 이유는 ABR + FB 기법에서 주로 대역폭·지연 곱들의 비를 이용하고 절대적인 값은 별로 사용하지 않기 때문인 것으로 볼 수 있다. 또 그 절대적인 값을 이용한다 하더라도 제시된 기법에서 사용하는 계산 방식이나 변수 값들은 실질 값의 하한값에 해당하므로 그 성능을 악화시키는 방향으로 나아가지는 않게 된다.

#### IV. 모의 실험을 통한 ABR + FB 방안 성능 검증

##### 1. 모의 실험 모델

우선, ATM 망에서 TCP 전송에 관한 성능을 분석하기 위해서 사용된 모의 실험 모델 및 실험 망구조들에 대해서 설명하도록 하겠다. 기본적인 모의 실험 도구는 REAL 망 모의 실험 라이브러리이고, 본 논문 의 저자들이 추가한 ABR 모델을 추가로 사용했다.

TCP 신호원들은 무한 TCP Reno 신호원이고 윈도우 확장 선택 사양(window scaling option)을 사용했다. TCP 분절(segment)들의 길이는 1,500 바이트이었고 ATM 적응 계층으로 AAL5를 사용했다. TCP 타이머의 정밀도는 50ms이고, 지연 ACK 선택 사양(delayed ACK option)은 사용하지 않았다.

ABR 전송률 할당 기법으로는 Charny가 제안했던 MIT 기법[9][10], Siu가 제안했던 APRC(Adaptive Proportional Rate Control) 기법[11], 그리고 원래의 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 제안서에 소개되어 있는 EFCI(Explicit Forward Congestion Indication) 기법[12] 등 3 가지를 비교했다. 사용된 각종 변수들은 표 1에 수록되어 있다. 제안된 ABR + FB의 경우는 이들 ABR 기법들과는 별도로  $\omega$ (지수적 하중 평균에서 사용되는 하중값)와  $Nfb$ (변수 계산 주기) 등 2 개의 변수가 더 정의되어야 한다. 모의 실험에서  $\omega$ 와  $Nfb$  는 각각 6과 16으로 설정했다.

표 1. SES(Source End System) 및 전송률 할당 ABR 변수 값  
Table 1. Parameter values for SES and ABR rate allocation algorithms.

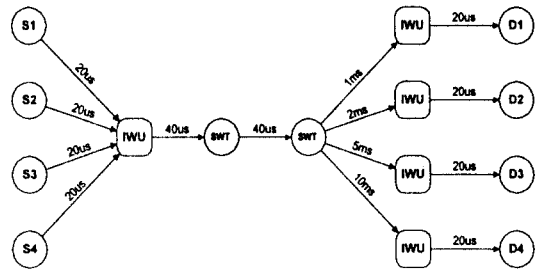
변수	값
Nrm	32
Mrm	2
ACR Decrease Time Factor, ADTF	0.5sec
Transient Buffer Exposure, TBE	1024
Trm	100ms
Initial Cell Rate, ICR	1/20 * PCR
Minimum Cell Rate, MCR	1/100 * PCR
Cutoff Decrease Factor, CDF	0.5
Crm	TBE/Nrm

Rate Increase Factor, RIF	1, 1/64
Rate Decrease Factor, RDF	1/512
VC Separator, VCS	7/20
Average Factor, AV	1/16
Major Reduction Factor, MRF	1/2
Down Pressure Factor, DPF	7/8
Explicit Reduction Factor, ERF	15/16
Initial MACR, IMR	1/100 * PCR
Very Congested Threshold, DQT	5/10 * BSize
Congested Threshold, QH	2/10 * BSize
Uncongested Threshold, QL	1/10 * BSize

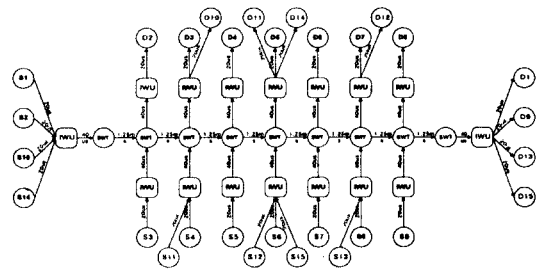
ABR 기반 기법들의 성능을 비교 평가하기 위하여 UBR + 와 UBR + EB 등 2 가지 기법들을 함께 실험했으며, 이 때 이 UBR 기반 기법들에서는 초기 패킷 폐기(EPD: Early Packet Discard)를 이용했다. 우선 UBR + 기법은 ATM 교환기에서 단지 EPD만을 사용하는 것이고 UBR + EB(Equal Buffering) 기법은 Liu의 개선된 EPD를 이용한 방식이다[13]. EPD 경계는 최대 버퍼 크기에서 ABR 연결의 수와 최대 패킷 크기의 곱을 뺀 값으로 했다.

모의 실험에서 사용한 실험 망구조는 그림 4(a)와 (b)에 나타난 것과 같다. TCP 신호원 S<sub>n</sub>은 목적 호스트 D<sub>n</sub>에 패킷을 전송한다. 각 링크의 대역폭은 50Mbps이다. 모든 관문과 교환기에 있는 버퍼들은 모두 크기가 같다. 실험 망구조 A는 관문 체증 제어 기법이 서로 다른 RTT의 TCP 연결들의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 실험 망구조 B는 관문 및 ATM 교환기 체증 제어 기법이 서로 다른 지연을 갖는 TCP 연결들의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 것으로 지연이 매우 긴 연결 S1-D1 하나와 여러 개의 짧은 연결들이 섞여 있다.

여러 가지 체증 제어 기법들의 성능은 수율 및 공정성 측면에서 비교했다. 수율 지표로는 전체 수율을 대역폭이 최대-최소 공평(max-min fair)하게 할당되어 있는 최대 수율로 정규화시킨 값을 이용했다. 이 때 정규화된 수율이 1.0보다 큰 것은 대역폭 최대-최소 공평하게 할당되어 있지 않는 경우에 발생하며, 이때 짧은 연결들이 더 많은 대역폭을 차지하게 된



(a)



(b)

그림 4. 실험 망구조: (a) 망구조 A, (b) 망구조 B. (S<sub>i</sub>: TCP 신호원, D<sub>i</sub>: TCP 목적지, IWU: 관문, SWT: ATM 교환기)

Fig. 4 Test Topologies: (a) Test Topology A, (b) Test Topology B. (S<sub>i</sub>: TCP Source D<sub>i</sub>: TCP Destination, IWU: Gateway, SWT: ATM Switch)

다. 공정성 지표로는 Jain의 지수를 이용했다[14]. 이 값은 1에 가까울수록 더 공정하게 대역폭이 할당되어 있다는 것을 나타낸다. 버퍼 크기는 실험 망구조에서 최대 대역폭 및 최대 지연의 곱으로 정의되는 이상적인 최대 버퍼 크기에 대해서 정규화시켰다. 예를 들어 실험 망구조 B에서는 연결 S1-D1이 가장 긴 연결을 가졌으므로 이상적인 최대 버퍼 크기는 50Mbps \* 20ms이다.

## 2. 모의 실험 결과 및 분석

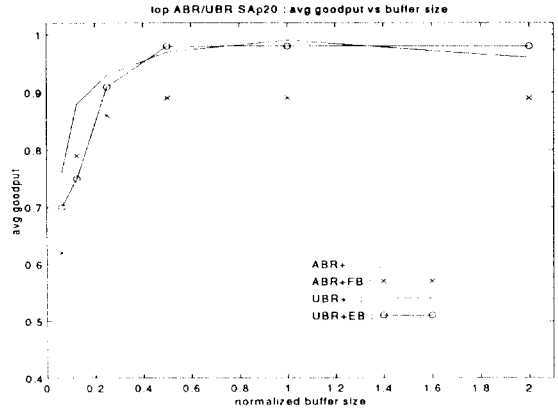
그림 5(a)와 (b)는 실험 망구조 A상에 대하여 ABR +, ABR + FB, 그리고 UBR +, UBR + EB의 수율과 공정성을 비교한 것이다. 이 그림들로부터 ABR + FB는 ABR +의 성능을 수율 및 공정성 모든 측면에서 향상시키는 것을 알 수 있다. 이것은 ABR + FB가 기본적으로 짧은 연결들이 버퍼를 독점하는 것을 막아

서, 결과적으로 긴 경로의 연결들이 할당된 대역폭을 완전히 사용할 수 있게 해주기 때문에 가능하다. 정규화된 버퍼 크기가 1 보다 작을 때는 ABR+FB는 ABR+에 비해서 훨씬 좋은 수율과 공평성을 가지며, 버퍼 크기가 커질수록 그 차이가 줄어들다. 정규화된 버퍼 크기가 0.2 밖에 안될 때에도 ABR+FB는 수율이나 공평성을 거의 최대 값까지 끌어올린다. 여기서 ABR+FB는 정규화된 버퍼 크기가 작을 때 더욱 가장 효과적이 됨을 알 수 있다. 망구조에서 최대 대역폭 및 최대 지연의 곱으로 정의된 이상적인 최대 버퍼 크기로 정규화했다는 사실을 상기하면 오히려 정규화된 버퍼 크기가 작은 경우가 WAN에서는 일반적이되는 것을 알 수 있다. 이런 경우에는 ABR+FB를 사용하면 성능이 상당히 향상될 것으로 기대된다.

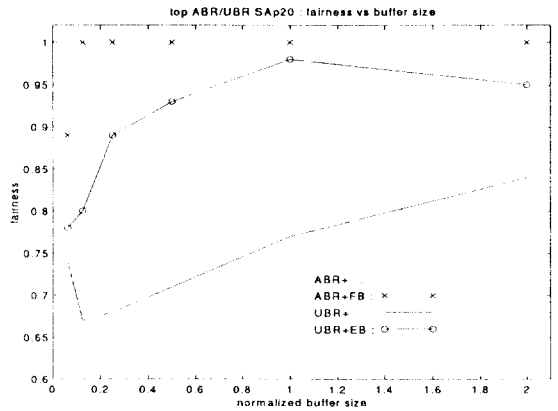
사용되는 ATM 연결의 종류, 즉, UBR 및 ABR 사이에는 공평성 및 수율에서 성능차가 크다. 이것은 특히 연결들 중에서 최대 수율과 최소 수율을 나타내는 그림 5(c)에 잘 드러나 있다. 최대 수율과 최소 수율의 격차는 UBR+의 경우에 특히 크고, UBR+EB의 경우에는 줄어든다. ABR+의 경우에는 버퍼가 작을 때는 그 차이가 크지만 버퍼가 커지면서 줄어든다. ABR+FB의 경우가 제일 작은 차이를 보인다. 최대 수율과 최소 수율의 차가 크다는 것은 그만큼 공평성이 떨어진다는 것이다. 그러나 이때 최소 수율이 작더라도 최대 수율이 충분히 크거나, 다수의 연결들이 최대 수율에 근접하면 전체 수율은 좋게 나타나게 된다. ABR 기반 기법들에 비해 UBR 기반 기법들이, 그리고 ABR+FB에 비해 ABR+ 기법이 더 우수한 수율을 보이는 것은 바로 이 이유 때문이다.

앞서 지적한 것처럼 UBR 기반 기법들과 ABR 기반 기법들을 비교하면 ABR 기법들이 훨씬 좋은 공평성이 있으나, UBR 기반 기법들의 수율 성능이 훨씬 좋다. 대개 UBR 기반은 기법들의 수율은 거의 1.0이상이 되지만, ABR 기반 기법들은 그러지 못한다. 공평하기 때문에 이런 이유도 있지만, 어느 ABR 연결도 0.95의 수율을 얻지는 못한다. 즉, TCP 연결들이 할당 대역폭의 약 95%이상의 수율을 얻지 못한다. 이것은 ABR 연결을 이용한 TCP 전송의 문제점을 보여주는 것이다. 그 원인 여러 가지가 있다. 하나는 ATM 대역폭의 3%는 ABR 체중 제어 알고리즘의 자원 관리(RM:Resource Management) 셀들이 사용한다는

점이다. 이와 비교해서, UBR 기반 기법들은 패킷이 큐에 있는 한 100% 효율을 얻을 수 있다. 그러나 UBR의 이러한 성질은 한편 짧은 경로의 연결에게 더 많은 대역폭을 제공함으로써 공평성을 악화시키는 점을 주목해야 한다.



(a)

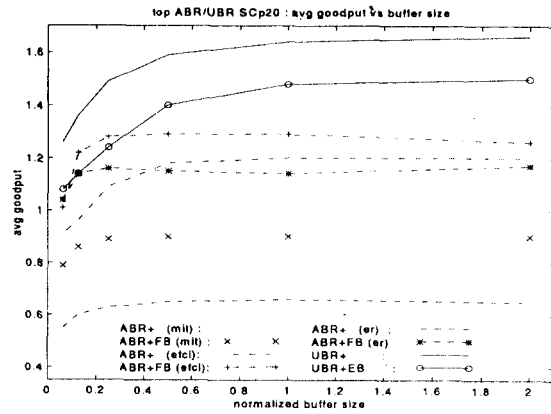


(b)

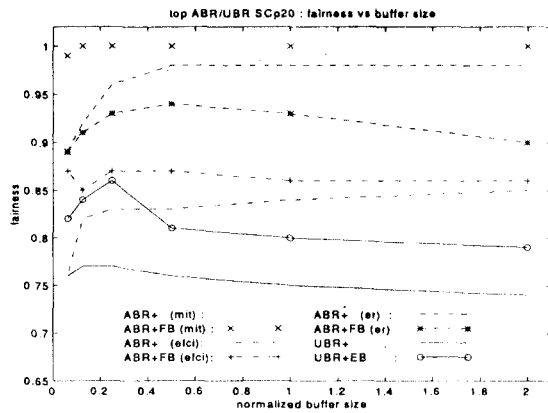
그림 5. 실험 망구조 A 모의 실험 결과:(a) 전체 수율, (b) 공평성, (c) 최대/최소 수율.

Fig. 5 Simulation Results for Test Topology A:(a) Total throughput, (b) fairness, (c) max/min goodput.

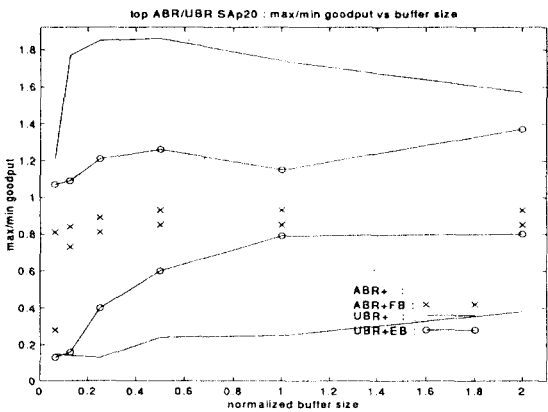
그림 6(a)과 (b)에는 망구조 B에서 관문 및 ATM 교환기들의 복합적인 영향을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 실험 망구조 A에 대한 결과들은 여기에도 성립된다. 즉, ABR 기반 기법들은 공평성



(a)



(b)



(c)

그림 6. 실험 망구조 B 모의 실험 결과:(a) 전체 수율, (b) 공정성, (c) 최대/최소 수율.

Fig. 6 Simulation Results for Test Topology B:(a) Total throughput, (b) fairness, (c) max/min goodput.

면에서는 우수하고, UBR 기반 기법들은 수율이 더 좋다. 이 경우에도 UBR 기반 기법들이 더 좋은 수율을 보인 것은 대역폭을 공평하게 사용하지 않는 데서 비롯된다. UBR 기반 기법들 중에서는 UBR+EB은 UBR+에 비해서 수율이 더 낮지만 이것은 UBR+EB가 대역폭을 더 공평하게 사용하기 때문이라고 보인다. ABR 기반 기법들은 상대적으로 수율이 낮지만 이것은 긴 경로의 연결들에게 대역폭을 공평하게 나누어 주었기 때문이다. 이와 같은 분석은 ABR 기반 기법들의 경우 공평 지수가 거의 1.0이라는 사실이 뒷받침해준다.

ABR 전송률 할당 기법들간에도 차이가 상당히 큰 것으로 보인다. 전체적인 경향은 앞서 언급한 것과 같지만, 세 가지 기법들 중에서는 MIT 기법이 공정성이 제일 좋고, APRC 기법이 그 다음으로 좋다. 수율의 경우에는 오히려 EFCI 기법이 제일 좋고, APRC가 그 다음으로 좋다. 이것은 ABR 전송률 할당 기법들 중에서는 EFCI가 대역폭을 공평하게 할당하지 않음으로서 우수한 수율을 얻는다는 것이다. 이것은 이미 ABR 체중 제어 기법 설계에서 많이 다루어졌던 EFCI의 공정성 문제점을 그대로 나타내는 것이다. 즉, 여기서 알 수 있는 것은 ABR 전송률 할당 기법들 자체의 공정성 성질들이 TCP의 성능에도 영향을 미친다는 것이다.

FB 기법을 사용하는 것은 MIT, EFCI 경우에 모두 그 성능을 수율 및 공정성을 향상시킨다. 그러나 APRC의 경우에는 수율이 좋아지면서도 공정성이 약간 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 수율이 0.6에서 1.2까지 좋아지는 반면에, 공정성은 약간만 떨어지는 것으로 보아서 이 경우에도 FB 기법의 사용이 전체적으로 성능을 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 ATM 링크가 전체 연결 경로의 일부분을 형성하는 서브네트 ATM 모델에 있어서 ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송에 관한 연구를 했다. ABR 연결을 이용할 경우에는 지능적인 판문 체중 제어 기법의 사용을 통해서 수율 및 공정성을 개선할 수 있음을 보였다. ABR 연결을 이용한 TCP 트래픽 전송이 좋은 성능을 얻지 못하는 이유가 근본적으로는



ABR의 전송률 기반 체증 제어 기능과 TCP의 윈도우 기반 체증 제어 기능이 잘 맞지 않기 때문이라는 것에 바탕을 두어 ABR +FB 관문 체증 제어 기법을 새로이 제안했다. ABR +FB 사용할 때 성능이 향상되는 기본 이유는 ABR 전송률 제어 기법이 체증을 ATM 망내에서 망 끝에 있는 관문으로 밀어내는 사실을 이용해서 관문에서의 버퍼 관리를 효율적으로 하기 때문이다.

모의 실험을 통해서 ABR +, ABR +FB, UBR +, UBR +EB 기법들의 성능을 수율 및 공평성 면에서 비교 한 결과 전체적으로 ABR 기반 기법들이 UBR 기반 기법들에 비해 공평성은 좋지만 수율은 나쁜 것을 확인 할 수 있었다. UBR 기반 기법들의 우수한 수율 성능은 기본적으로 짧은 연결들의 대역폭 독점에 그 원인이 있음을 파악했다. 전체 수율을 높이는 것도 중요하지만, 공평성을 희생시켜서 수율 증가를 얻는 것은 망 운영 측면에 있어서 좋은 선택이 아니다. 이와 비교해서 ABR + 및 ABR +FB는 공평성이 매우 좋은 것으로 나타났고, ABR +와 ABR +FB 만을 비교한다면, ABR +FB를 사용하는 경우가 수율 공평성 양면에서 언제나 더 우수한 성능을 나타냈다.

ABR +와 ABR +FB의 성능차는 특히 버퍼 크기가 작을 때 두드러졌다. 즉, ABR +FB가 상대적으로 최선의 성능을 보이는 것은 버퍼 크기가 작을 경우에 해당한다. 그러나 모의 실험에서 사용한 버퍼 크기는 최대 대역폭과 최대 지연의 곱으로 정의되는 이상적인 버퍼 크기로 정규화시킨 것이므로 정규화된 버퍼 크기가 작은 경우가 일반적이다. 이것은 ABR +FB 기법이 일반적으로 WAN 환경에서 유용하게 사용될 수 있다는 것을 의미한다.

또한 ATM 망에서 사용되는 ABR 전송률 할당 기법들 자체의 공평성 성질이 TCP 성능에 미치는 영향을 확인했다. 성능을 비교한 결과, EFCI, APRC, MIT 기법 중에서 APRC가 종합적으로 수율 및 공평성에서 우수하다는 것을 알 수 있었다. EFCI를 사용하는 경우에는 EFCI 기법 자체의 나쁜 공평성 성질이 전체 성능을 떨어뜨리는 것을 볼 수 있었다. 또 ABR +FB 기법을 이용하면, 어느 전송률 할당 기법을 사용하더라도, 그 성능이 향상된다는 것을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. The ATM Forum, ATM Traffic Management Specification version 4.0, April 1996.
2. W. Stevens, TCP/IP Illustrated Vol. 1, Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.
3. V. Jacobson and M. Karol, "Congestion Avoidance and Control," Proceedings of the SIGCOMM'88 Symposium, Stanford, August 1988.
4. S. Floyd, "Connections with Multiple Congested Gateways in packet-Switched Networks par 1: One-way traffic," Computer Communications Review, vol. 21, pp. 30-47, Oct. 1991.
5. Shiv Kalaynarman et. al, "Performance of TCP/IP over ATM," Proceedings of GLOBECOM '96, pp. 468-475, London, Nov. 1996.
6. —, "Performance and Buffering Requirements of Internet Protocols over ATM ABR and UBR services," to appear in IEEE Communications.
7. W-J. Kim and B. G. Lee, "On Supporting TCP Traffic over ATM Networks, Part 1: The ABR case," submitted to the IEEE/ACM Transactions on Networking.
8. S. Keshav, "REAL: a network simulator," UC Berkeley Technical Report, 1988.
9. A. Charny, D. D. Clark, R. Jain, "Congestion Control with Explicit Rate Indication," Proceedings of ICC'95, pp. 1954-1963, June. 1995.
10. L. Kalampoukas et. al., "An Efficient Rate Allocation Algorithm for ATM Networks providing Max-Min Fairness," Proceedings of the 6th IFIP International Conference on High Performance Networking, pp. 145-154, Sept. 1995.
11. Kai-Yeung Siu and Hong-ti Tzeng, "Adaptive Proportional Rate Control(APRC) with Intelligent Congestion Control in ATM," ATM Forum 94-888, Sept. 1994.
12. H. Hsiaw et. al., "Closed-loop rate-based traffic management," ATM Forum 04-0438R2, Sept. 1994.
13. Hongqing Li, Kai-Yeung Siu, Hong-ti Tzeng, Chinatsu Ikeda and Hiroshi Suzuki, "TCP over ABR

and UBR Services in ATM," Proceedings of IPCCC'96, Phoenix Arizona, Mar. 1996.

14. R. Jain, "Fairness:How to measure quantitatively?," ATM Forum 94-881, Sept. 1994.



金 佑 駿(Woo-June Kim)정회원

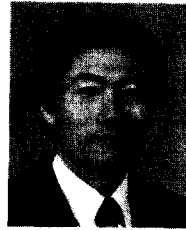
1968년 5월 24일생

1991년 2월:서울대학교 전자공학과(공학사)

1993년 2월:서울대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 3월~현재:서울대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※주관심분야:ATM/B-ISDN, TCP/IP 프로토콜



李 秉 基(Byeong Gi Lee)정회원

1951년 5월 12일생

1974년 2월:서울대학교 전자공학과(공학사)

1978년 2월:경북대학교 전자공학과(공학석사)

1982년 2월:University of California, Los Angeles 대학원 전자공학과(공학사)

1974년~1979년:해군사관학교 교관

1982년~1984년:Granger Associates, Santa Clara, CA, 연구원

1984년~1986년:AT&T Bell Laboratories, North Andover, MA, 연구원

1986년 9월~현재:서울대학교 전기공학부 교수

※주관심분야:디지털 신호처리, 디지털 전송, 광대역 통신망, 통신 신호처리