

ATM 망에서 ABR/UBR 서비스상의 TCP 성능평가

김명희*, 오정순**, 박봉주*, 박승섭*

*부경대학교 전자계산학과

**부경대학교 전산교육학과

e-mail:mh02@unicorn.pknu.ac.kr

The Evaluation of TCP Performance for ABR/UBR Services in ATM Network

Myong-Hee Kim*, Jung-Sun Oh**, Bong-Ju Park*, Seung-Seob Park*

*Dept of Computer Science, PuKyong University

**Dept of Computer Science Education, PuKyong University

요 약

초고속 인터넷의 멀티미디어 서비스 통합에 대한 해결책으로 ATM 네트워크 기술이 널리 사용되고 있다. UBR 상의 TCP에서는 혼잡 시 패킷의 손실을 줄이기 위한 UBR+EPD 방식과 ABR 상의 TCP에서 ABR 율 기반 제어는 셀 손실을 억제하는 높은 성능의 ER 방식이 제안되었다. 그러나 인터넷 서비스의 영역이 지역적으로 점차 확장되어짐에 따라 보다 다양한 QoS가 요구되어진다.

이러한 환경요인을 만족시키기 위해, 본 논문에서는 UBR 서비스상의 TCP의 성능개선을 위해서 거리에 따른 빠른 재전송과 회복의 설정 여부에 대한 성능평가와 ABR 서비스에서는 TCP의 파라미터인 MTU(Maximum Transport Unit)의 크기를 변화시켜 좋은 성능 개선을 가져오는 MTU 크기를 시뮬레이션 결과 통해 나타내었다.

1. 서론

초고속의 전송매체를 기반으로 한 ATM (Asynchronous Transfer Mode)은 데이터, 음성, 그리고 비디오 전송 등을 가능하게 하는 고속 광대역 통신망인 B-ISDN을 실현하기 위한 기본 방식으로 탄생한 것이다. 이 방식은 멀티미디어 서비스의 다양한 QoS를 제공한다. ATM Forum TM(Traffic Management) 4.0에서는 ATM 트래픽을 CBR(Constant Bit Rate), rt-VBR(real-time Variable Bit Rate), nrt-VBR(not real-time Variable Bit Rate), ABR(Available Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate)의 5가지 종류의 서비스로 정의하고 있다[1]. UBR 서비스는 CBR, VBR, ABR 서비스가 사용하고 남은 대역폭을 사용하는 셀 지연에 민감하지 않는 트래픽을 전송하는데 유리하며 특히 ATM 망에서 제공하는 UBR 서비스는 명백한 혼잡 제어 메커니즘이 없다. 이러한 단점을

보완한 셀 폐기 정책 중 하나인 EPD(Early Packet Discard)를 이용해 망에서 불필요한 대역폭 낭비를 줄일 수 있다. ABR 서비스는 고속의 데이터 전송을 위한 서비스로 적은 셀 손실과 시간에 따라 변하는 망의 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 능력 때문에 데이터 트래픽을 전송하기에 적합한 서비스이다. 이것은 RM(Resource Management) 셀을 이용하여 폭주제어(congestion control)를 하고 제어 변수들을 적절하게 설정함으로써 셀 손실 없는 데이터 전송을 가능하도록 송신측의 전송속도를 조절한다[1].

TCP(Transport Control Protocol)는 현재 데이터를 전송하기 위한 전송 프로토콜로 많이 사용된다. 기본적으로 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 윈도우를 이용하며 Slow Start, Congestion Avoidance, 그리고 재전송 단계로 구성된 흐름제어와 혼잡제어를 수행한다[2].

TCP의 윈도우 기반 제어와 ABR 서비스와 UBR 서비

스는 전송률 기반 제어가 독립적으로 동작한다. TCP는 하위계층의 망 정보를 이용하지 않고 응답 메시지를 이용하여 망의 상태를 예측하기 때문에 갑작스런 트래픽 양의 증가는 망에서의 지연 변이를 급격히 증가시키고, TCP에서 잘못된 재전송을 유발할 가능성이 커진다. 이로 인해 대역폭의 낭비와 처리율의 저하를 가져온다. 이러한 문제는 ATM 하부구조하에서 효과적인 TCP 동작의 연구가 진행 중에 있다 [5][8]. 본 논문에서는 효과적인 처리율과 공정성의 관점에서 ATM상에서의 TCP의 성능분석에 초점을 두고 시뮬레이션 통한 성능 평가를 하였다. UBR 상에서 TCP 또는 UBR+EPD 상에서 TCP는 거리에 따른 성능을 알아보고, ER 방식을 사용하는 ABR 상에서 TCP는 TCP 흐름제어와 ABR 전송률 제어 사이에서의 패킷 손실을 억제하는 좋은 성능을 제공한다. 또 TCP의 주요 파라미터를 기술하였다.

본 논문의 구성은 1장 서론에 이어, 2장에서는 ATM 층 서비스 중에서 UBR과 ABR 상에서의 서비스에 대해 간단히 서술하고, 3장에서는 TCP 흐름제어 방식을 기술하고, 4장에서는 시뮬레이션 환경을 설명하고, 5장에는 성능분석을 하고, 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론을 나타내었다.

2. ATM 층의 서비스

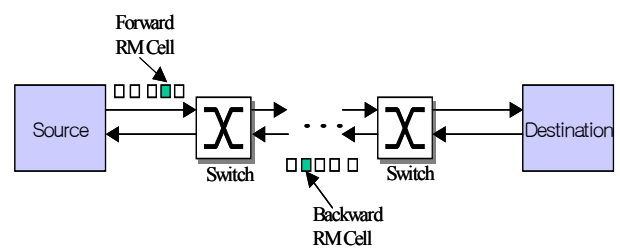
2.1 UBR 상에서의 서비스

UBR 서비스는 여러 가지 서비스에서 경제적인 반면에 우선 순위가 낮은 서비스이다. UBR 상에서의 제어를 위해서는 상위 계층인 TCP 제어방식에 의존한다. 만약 ATM 스위치의 버퍼에서 하나의 셀 손실은 TCP 층의 하나의 패킷 손실로 이어진다. 이는 망에서 낮은 처리율과 공정성으로 이어져 확실한 QoS의 보장이 어렵다. 이러한 단점을 보완한 셀 폐기 정책인 EPD(Early Packet Discard)나 PPD(Partial Packet Discard), RED(Random Early Detection)[10] 등을 사용해 망에 불필요한 대역폭 낭비를 줄일 수 있다. EPD는 버퍼에 임계치를 두어 이 임계치를 넘는 패킷의 첫 번째 셀이 있으면 그 첫 번째 셀과 같은 가상채널 식별자를 가지는 패킷 전부를 폐기하는 방법이다. 버퍼 오버플로우로 야기되는 패킷의 손실을 방지하여 불필요한 재전송과 대역폭 낭비를 막는다. 본 연구는 UBR 서비스에서 좋은 성능을 가지는 EPD 알고리즘과 기본적인 UBR 서비스를 비교하여 성능 평가하였다.

2.2 ABR 상에서의 서비스

ABR 트래픽에서는 망의 상태에 따라 송신측의 전송률을 조정할 수 있고, 이용 가능한 네트워크 자원을 공평하고 효율적으로 사용할 수 있다. RM 셀은 제어정보에 대한 자세한 사항을 기술하여 스스로 전달하고 소스는 이 정보 셀을 이용하여 현재의 네트워크에서 적합한 셀 전송률을 조정하게 된다. 즉, 소스는 수신응답이 타임아웃 기간 동안 도달되지 않은 경우와 같은 이진 피드백 방법(EFCI)이나 RM 셀에 의한 명시적인 방법(ER)으로 네트워크의 폭주상태에 대한 정보를 얻는다. ATM 네트워크 프로토콜은 연결위주 접근법을 기초로 해 설계되었다. 소스가 셀을 전송하기 전에 사용자는 통신량의 특성과 서비스의 요구품질을 명시하고 연결이 설정되었을 때 네트워크는 피드백 정보를 활용하여 셀 손실을 최소화하면서도 해당 소스에 대한 원하는 서비스 품질을 보장하도록 한다.

ABR 트래픽 관리 모델을 전송률 기반 종단간 폐쇄 루프(rate-based end-to-end closed loop)라 부른다. (그림 1)과 같이 전송률 기반(rate-based)이라 함은 TCP처럼 크레딧 기반(credit-based)이 아니라 송신측이 정해진 전송률로 데이터를 보낸다는 의미이다. 또한 네트워크와 송신측간의 끊임없는 제어 정보 피드백으로 전송률을 관리하며, 송신측으로부터 수신측으로 제어 정보를 보내고 다시 수신측으로부터 송신측으로 보내는 종단간(end-to-end) 관리기법 이 다 .



(그림 1) RM 셀의 경로

지금까지 제안된 대표적인 전송률 기반의 ABR 스위치로는 크게 EFCI(Explicit Forward Congestion Indication)스위치와 ER(Explicit Rate) 스위치로 나눌 수 있다. ER 스위치는 VC(Virtual Channel)간의 링크 전송률의 공평한 몫인 공정성(fairness)을 계산하여 역방향 RM 셀의 ER 필드에 실어 송신원에 알리게 된다. 이렇게 함으로써 송신측은 경로상의 모든 스위치의 허가된 MCR(Minimum Cell Rate) 값을

받게 되고 병목현상을 고려할 수 있게 된다. 이러한 ER 스위치의 구조는 EPRCA(Enhanced Pro-protional Rate Congestion Avoidance), ERICA(Explicit Rate Indication for congestion Avoidance)[6], CAPC등의 구조가 있다.

이상과 같이, ABR 서비스의 트래픽 제어를 위한 표준으로 ATM 포럼에서는 TM(Traffic Management) 4.0을 정의한 EFCI 방식과 ER 방식을 사용하여 성능 평가를 하였다[1].

3. TCP 혼잡 제어 방식

TCP 프로토콜은 슬라이딩 윈도우 흐름제어 기법과 재전송 기법을 사용하여 TCP 사용자 사이에서 에러 없이 중단간 데이터를 보증한다. TCP 윈도우 조절 알고리즘은 연구의 주제가 되고 있고 TCP의 성능을 보증하기 위해 계속해서 발전하고 있다.

송신측은 세그먼트를 송신한 후에 수신측으로부터 ACK 없이 연속적인 세그먼트 송신이 가능하다. 그러나 수신측 버퍼용량이 부족할 때는 송신측에서의 세그먼트 흐름을 제어하는 흐름제어가 필요하다. 일반적으로 많이 쓰이는 방법은 sliding-window 제어이다. TCP에서는 타이머가 만료될 때까지 양의 ACK가 수신되지 않으면 전송한 세그먼트를 다시 전송하는 재전송 기법을 사용한다. TCP 송신측은 최대 윈도우 크기만큼의 세그먼트를 ACK 없이 송신할 수 있다. 송신된 세그먼트에는 데이터 세그먼트의 순서번호를 가지고 있다고 가정한다. ACK를 수신한 송신측은 할당받은 크레딧에 따라서 ACK 없이 송신할 수 있는 자신의 윈도우를 증가시킨다[2].

이러한 기본적인 기법을 바탕으로 TCP의 혼잡제어로서는 slow start, 혼잡회피(congestion avoidance), 빠른 재전송 그리고 빠른 복구(fast retransmission and fast recovery) 등의 4가지 알고리즘을 사용한다[2][7].

Slow start는 송신원에서 수신원에 연결 요청 수락 후, 초기 데이터를 전송하고 수신측 TCP 컨넥션은 송신원에 ACK를 보내서 수신 성공을 알린다. 이때 송신원은 RTT (Round Trip Time)를 계산하고, RTT를 기본으로 RTO (Retransmission Timeout)를 계산한다. 타이머가 만료 될 때까지 ACK 신호를 받지 않으면 세그먼트 손실로 간주하고 전송한 세그먼트부터 다시 전송하는 재전송 방법을 사용한다. 또한 에러가 발생되지 않을 경우에는 최대 윈도우 크

기만큼의 세그먼트를 ACK 없이 송신할 수 있다. Slow start 동안에는 매 ACK에 대해서 폭주 윈도우 (congestion window: cwnd)의 크기를 하나씩 증가시키며, 폭주 윈도우의 크기 증가는 ss-threshold (slow start threshold)에 이르거나 세그먼트의 손실이 감지될 때까지 계속된다. 이러한 방식으로 망에서 윈도우의 크기를 동적으로 조정하여 혼잡을 회피하는데, 혼잡 시나 전송한 세그먼트에 대한 타이머가 만료되면 현재 윈도우 크기의 반(cwnd/2)을 ss-threshold로 설정하고 폭주 윈도우(cwnd)의 크기를 1로 설정하고 slow start 과정을 cwnd가 ss-threshold이거나 세그먼트의 손실이 감지될 때까지 계속 증가하게 된다. 또한 폭주윈도우의 크기가 ss-threshold와 같아지거나 커지면 혼잡회피 단계로 들어가는데, 현재의 폭주 윈도우의 크기를 a 로 가정하면 매 ACK마다 $1/a$ 만큼의 폭주 윈도우가 증가하게 된다. 이는 폭주윈도우크기에 도달하거나 세그먼트의 손실이 감지될 때까지 진행시킨다.

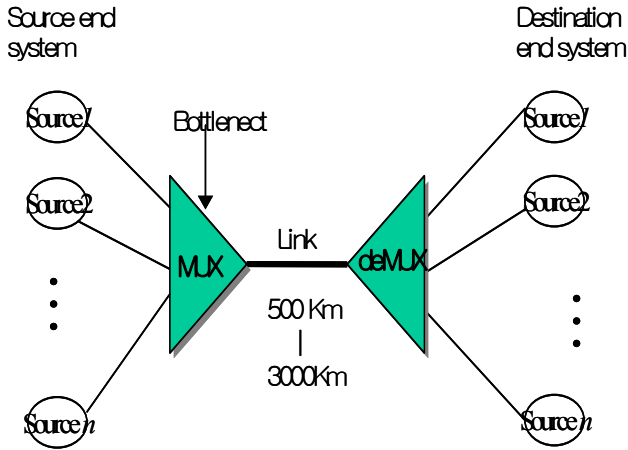
빠른 재전송은 수신원에 순차번호에 맞지 않는 세그먼트가 수신되면 잘못 수신된 세그먼트 순차번호를 ACK에 실어 송신하여 올바른 순차번호를 갖는 세그먼트가 수신될 때까지 계속 보낸다. 그러면 송신원은 중복된 ACK가 n 개 이상 수신되면 손실로 간주하여 재전송 한다. 이것은 재전송 타이머가 만료될 때까지 기다려야 하는 시간을 줄이는 방법이다[7].

4. 시뮬레이션 환경

본 장은 시뮬레이션 망 모델과 파라미터에 대해 설명한다. C++로 작성된 YATS ATM 시뮬레이션 도구 [3]를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

4.1 시뮬레이션 모델

UBR과 ABR 서비스 상에서 TCP의 성능 분석을 위해 (그림 2)와 같은 하나의 병목 구간을 가지는 peer-to-peer 모델을 설정하였다. 전송방향은 단방향으로만 데이터를 전송하게 하는 모델이다. 링크 속도는 150 Mbps이고, 스위치간 거리는 500 Km에서 3000 Km까지 변화시켜서 시뮬레이션 하였다. 각 TCP 컨넥션과 스위치 사이의 전송거리는 $n * 0.56$ Km로 설정하였다. <표 1>에서와 같이 컨넥션 수가 50에서 높은 처리율과 공정성을 보여주기 때문에 이후 실험부터는 TCP 컨넥션 수를 50로 제한하였다.



(그림 2) 시뮬레이션 모델

스위치 방식으로는 EFCI, ER을 적용해서 ABR 상에서의 TCP 성능을 MTU 크기를 변화시켜 분석하였고, UBR 상에서의 TCP 성능 분석을 위해서는 UBR 그 자체와 UBR+EPD 알고리즘을 사용하여 빠른 재전송과 회복을 적용하였다. 그리고 송신원의 TCP 애플리케이션은 고정 프레임 길이를 가지는 프레임을 지속적으로 전송하였다.

<표 1> VC 수에 따른 처리율과 공정성

방식 \ VC수	UBR		UBR+EPD		EFCI		ERICA	
	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성
10	66.9	87.8	86.5	86.3	124.9	99.6	119.2	100.0
20	88.1	65.0	106.9	81.8	125.2	98.7	119.4	100.0
30	98.4	63.2	106.9	74.4	108.7	90.2	119.5	100.0
40	96.5	64.9	126.2	71.0	98.2	82.9	119.7	100.0
50	97.6	68.7	127.2	67.4	102.2	86.1	119.9	100.0
60	91.1	69.0	116.3	61.0	106.5	78.2	120.1	100.0
70	94.3	68.2	129.3	61.5	101.3	65.9	120.1	100.0

* 처리율; Mbps, 공정성; 백분율

4.2 시뮬레이션 파라미터 설정 및 분석

각 ABR, UBR, VBR, TCP 컨택션, 스위치, Link의 기본 파라미터 설정은 (그림 3)와 같이 나타내었다. 기존에 연구된 것과 같이 ATM 층의 스위치 파라미터를 조정하여 성능개선[8][9]을 보일 수도 있으나, 본 논문에서 TCP의 파라미터를 조정하여 ATM 상에서의 TCP 성능개선을 도모하였다.

다시 말해서, 정의된 파라미터 값으로써 성능 개선에 대해 MTU 크기를 변화시키고, 빠른 재전송과 회복을 ON/OFF로 하였다.

성능 평가 요소로서는 거리에 따른 처리율과 공정성(fairness)과 MTU에 따른 처리율과 공정성을 기준으로 하였다. 평가 요소인 처리율은 ATM 층에서

TCP 최대 세그먼트 크기(MSS)를 2000 바이트 (default)에 TCP 헤더 20 바이트와 IP 헤더 20 바이트, LLC 헤더 8 바이트, AAL 트레일러 8 바이트에 패딩(padding)과 ATM 층의 헤더 5 바이트가 합쳐져서 총 43 cells이 된다. 그래서 최대 이용 가능한 처리율은 $2000 \div 2279 = 0.87$ 로 130.5 Mbps가 된다. 그리고 공정성은 서로 다른 VC 간 대역폭 할당에 있어서 공정하게 할당받았는가를 평가하는 기준으로 다음 식과 같이 주어진다[5].

$$Fairness = \frac{(\sum x_i)^2}{n \times (\sum x_i^2)}$$

여기서, $x_i = T_i / O_i$ 로 $Y_i (i=1 \dots n)$ 는 각 VC 마다 성공적으로 도착된 패킷의 측정된 처리값으로 단위 시간 당 전송 받은 양을 바이트로 계산하였고, $O_i (i=1 \dots n)$ 는 최대-최소의 최적 처리율이고, n 은 전체 VC의 수이다. 여기에서 공정성의 기준값으로 1을 설정하였는데, 공정성의 의미는 각 TCP 컨택션 간의 대역폭을 공정하게 할당받았는가를 평가한다.

<표 2> 거리에 따른 처리율과 공정성

방식 \ 거리(Km)	UBR		UBR+EPD		EFCI		ERICA	
	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성	처리율	공정성
500	92.0	65.0	118.8	67.7	100.6	87.6	120.3	100.0
750	97.3	66.6	111.1	72.3	96.3	69.9	120.0	100.0
1000	88.7	70.7	108.9	73.8	74.8	68.3	119.3	100.0
1250	86.3	72.5	115.5	74.4	83.6	63.9	119.1	100.0
1500	85.3	57.2	107.3	74.4	85.1	82.0	118.9	100.0
1750	78.2	57.9	105.2	83.9	78.9	78.8	119.1	100.0
2000	83.9	57.2	105.1	81.3	80.7	55.9	118.5	100.0
2250	73.4	72.3	106.5	66.3	85.5	70.6	118.9	100.0
2500	83.2	62.6	104.9	81.1	76.3	82.6	118.1	100.0
2750	71.2	62.6	101.1	76.7	84.7	85.4	118.3	100.0
3000	65.0	56.5	102.4	78.6	87.1	79.5	117.7	100.0

* 처리율; Mbps, 공정성; 백분율

<표 2>는 거리의 변화에 따른 처리율과 공정성의 변화를 보여 주고 있고 UBR+EPD에서 TCP가 VC 수에 따라서는 높은 처리율을 보였지만, 거리에 따라서는 전자보다 낮은 처리율을 나타냈고, UBR은 스위치의 버퍼 크기와 TCP 혼잡 제어방식에 의존하기 때문에 거리가 멀수록 망에 잘 대처하지 못하는 처리율을 보이고 있다.

ER과 EFCI는 피드백 되어온 정보에 의해 전송률을 조정한다. 특히 ER과 같은 경우 RM 셀 필드의 계산

된 ER 값에 의한 각 대역폭을 할당받기 때문에 거리가 멀어도 일정하게 높은 처리율을 나타낸다. EFCI 같은 경우는 거리가 멀수록 더 빈번한 폭주 정보를 받음으로써 각 TCP 컨넥션은 사용할 수 있는 대역폭에 비해 전송률을 높일 기회를 자주 잃게된다.

TCP
평균 패킷 처리 = 300 μ s
송신/수신 버퍼 크기 = 64000 바이트
최소 RTT = 100 msec
Link
속도 = 150 Mbps
스위치와 종단시스템 거리 = $n * 0.56$ Km
(n : VC의 수)
ABR end system
PCR(Peak Cell rate) = 150 Mbps
Nrm = 32
MCR(minimum cell rate) = 0 Mbps
ABR & UBR switch
출력 버퍼 크기 = 4096 cells
EPD 임계치 = 3500 cells
높은 임계치 = 200 cells
낮은 임계치 = 200 cells

(그림 3) 시뮬레이션 파라미터

처리율이 높다고 해서 거리마다 충분히 자기 전송량 만큼 전송했다고 볼 수는 없다. <표 2> 에서 거리의 변화에 따른 공정성 평가를 나타내고 있는데 공정성 평가에서 ER이 거리에 따라서도 대역폭을 공평하게 할당받음을 알 수 있다. UBR은 낮은 결과가 나온 이유로는 UBR은 버퍼 크기의 오버플로우와 TCP 흐름 제어방식에 따르기 때문이다.

그리고, UBR+EPD는 비교적 높은 처리율에 비해 낮은 공정성을 보여주고 있다.

5. 성능평가

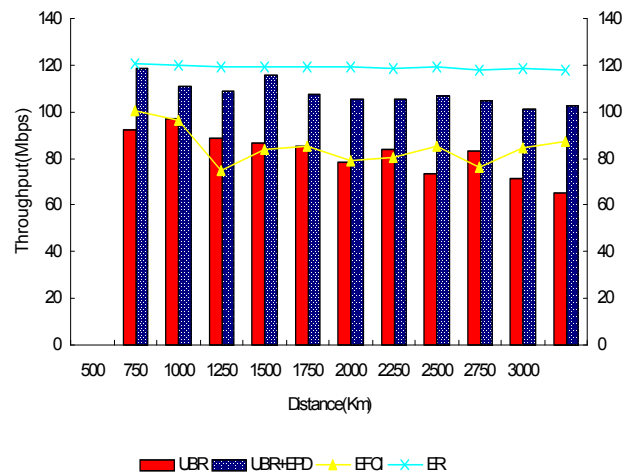
본 장에서는 4장의 결과 분석의 결과를 가지고, EFCI 방식과 ER 방식에서의 성능 개선 방안[9]으로 스위치 파라미터 변화에 따른 개선도 있지만, TCP 파라미터인 MTU에 따른 영향을 관찰하고 높은 성능을 가져오는 MTU 크기를 결정 할 수 있다. 그리고 UBR과 UBR+EPD는 버퍼 크기와 EPD 임계치에 영향을 받지만, 본 연구에서는 이를 배제한 TCP의 여러 파라미터 중 빠른 재전송과 회복을 ON시켜 TCP 계층의 효율적인 제어에 따른 개선을 도모를 위해 처리에 따른 처리율과 공정성을 확인 할 수 있다. 모든 거리의 변화 상태에서가 아니라 <표 2>에서와 같이 처리율과 공정성이 최상인 500 km인 경우를 모델로 설

정하여 거리와 MTU에 따른 성능평가를 나타내었다.

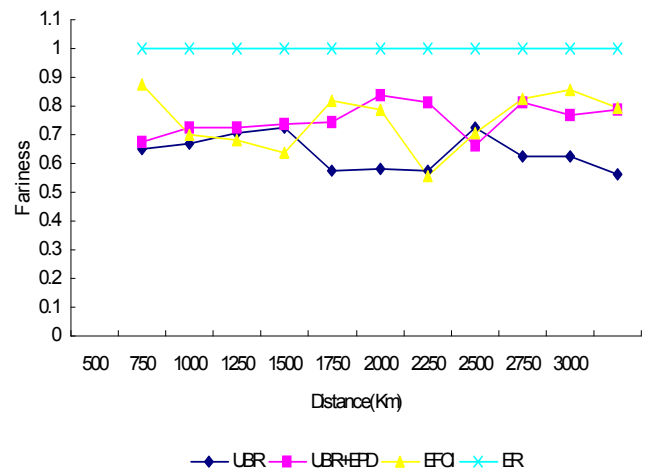
5.1 UBR 상에서의 성능평가

TCP의 파라미터 중 빠른 재전송과 회복에 영향을 받는다. (그림 4)와 (그림 7)은 빠른 재전송과 회복을 ON/OFF에 따른 처리율과 나타낸 것으로 빠른 재전송과 회복을 ON 했을 때 처리율이 높은 것을 볼 수 있다. 특히 UBR+EPD가 2000 Km 이하의 구간에서 ER 스위치 보다 높은 처리율을 보인다. 이는 TCP층에서 혼잡 발생 시 타임아웃 때까지 기다리지 않고 잘못된 패킷을 재전송 하는 기법이 UBR의 셀 손실을 막는데 도움이 되는 것을 알 수 있다.

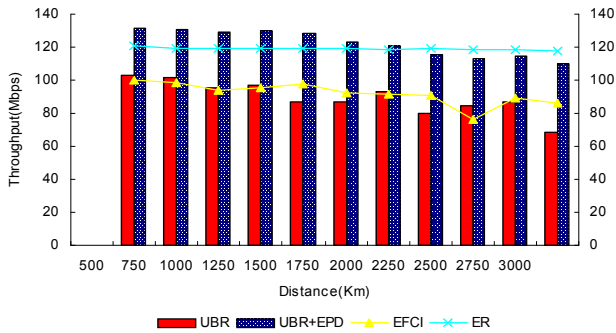
(그림 5)와 (그림 7)에서는 빠른 재전송과 회복을 ON/OFF 했을 때의 공정성을 나타낸 것으로 ON과 OFF의 공정성이 크게 다르지 않음을 확인 할 수 있다.



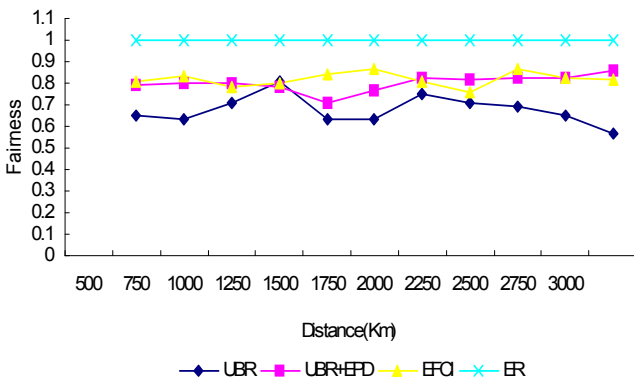
(그림 4) 거리에 따른 처리율(빠른 재전송과 회복 : OFF)



(그림 5) 거리에 따른 공정성(빠른 재전송과 회복 : OFF)



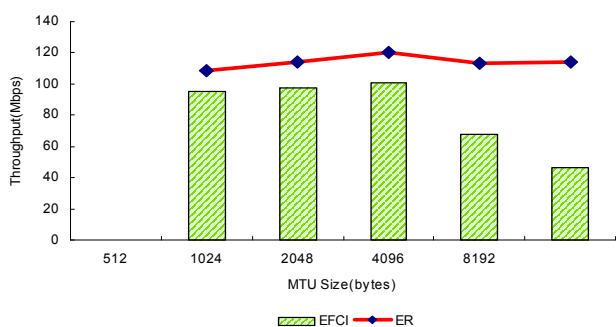
(그림 6) 거리에 따른 처리율(빠른 재전송과 회복 : ON)



(그림 7) 거리에 따른 처리율(빠른 재전송과 회복 : ON)

5.2 ABR 상에서의 성능평가

TCP의 주요 파라미터인 적절한 MTU 크기를 결정함으로써 ABR 상에서의 TCP의 성능개선에 도움이 된다. (그림 8)와 같이 EFCI 방식과 ER 방식에서는 MTU의 크기가 2048 bytes에서 높은 처리율을 보인다. 특히 EFCI 방식의 경우 MTU의 크기가 2048 bytes보다 클 때는 처리율이 급격히 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 일반적으로 ABR 율 기반 흐름제어에 의해 ER, EFCI는 전송량을 할당받아 ACR을 조절하는 것으로 알려져 있지만, TCP 층의 MTU 크기도 ABR의 성능에 영향을 미침을 알 수 있다.



(그림 8) MTU에 따른 ABR 스위치 방식의 처리율

6. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션의 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ATM 상에서의 TCP 성능이 거리에 따라서도 좌우됨을 확인 할 수 있었다.
- 2) UBR과 UBR+EPD는 TCP층의 파라미터인 빠른 재전송과 회복이 UBR 상의 TCP 성능을 개선하는데 중요한 요소인 것을 알 수 있었다.
- 3) 율 제어를 기반으로 하는 ABR상에서의 TCP도 TCP 파라미터인 적절한 MTU의 크기를 결정하는 것이 성능 개선에 중요한 역할을 함을 시뮬레이션 결과로 입증되었다.

참고문헌

- [1] ATM Forum, "ATM Traffic Management Specification Version 4.0", Apr. 1996.
- [2] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control", Proceedings of the SIGCOMM'88 Symposium, pp. 314-332, August. 1988.
- [3] YATS simulation for ATM Networks, Dresden University Technology, 1997.
- [4] R. Goyal, et al., "UBR+ : Improving Performance and modelling and analysis volume 3", 1st ED., Chapman & Hall, 1997.
- [5] Sufian YOUSEF and Caroline STRANGE "TCP/IP over Challenges in Enterprise Network integration", IEEE International Conference on ATM , ICATM'98, pp. 447-453, 1998.
- [6] S. Kalyanaraman, R. Jain, R. Goyal, S. Fahmy, and Vandalore, "The ERICA Switch Algorithm for ABR Traffic Management in ATM Networks", Submitted to IEEE/ACM Transactions on Networking, November 1997.
- [7] M. Mathis, K. Madhavi, S.Floyd, and A. Romanow, "TCP selective acknowledgment option", Internet RFC 2018, 1997.
- [8] Masatoshi Kawarasaki, Mika Ishizuka and Arata Koike, "Dynamics of TCP flow control over High-Speed ATM Networks", IEEE, 1998.
- [9] 박승섭, 육동철 "ABR과 UBR 서비스 상에서의 인터넷 프로토콜 : 문제점, 해결방안, 그리고 성능평가", 정보처리 논문지, 6권 제 11 호, pp. 3260-3268, 1999년 11월
- [10] O. Elloumi, H. Afifi, "RED Algorithm in ATM Networks", IEEE ATM '97 Workshop, pp. 312-319, July 1997.