

論文99-36T-12-11

# 다중 VBR 소스를 갖는 TCP over UBR-EPD의 특성

## (The Behavior of TCP over UBR-EPD with multiple VBR source)

李璉雨\*, 金珍泰\*\*, 劉英吉\*\*\*

(Jin-Woo Lee, Jin-Tae Kim and Young-Kil Yoo)

### Abstract

The Asynchronous Transfer Mode(ATM) networks are being adopted as backbones over various parts of Internet. TCP is one of the most widespread transport protocols and can be used with ATM. But, TCP shows poor end-to-end performance on ATM networks. Effective throughput of TCP over ATM can be quite low when cells are dropped at the congested ATM switch. As congested link transmits cells from corrupted packets, it wastes bandwidth and throughput becomes low.

This paper examines the behavior of TCP over ATM-UBR using EPD switch in a broadband environment. As threshold value closes to the buffer size, the buffer can be used more efficiently, but more drops and retransmission occur. If the threshold value is much less than buffer size, efficiency becomes low, but few drops can be happen. Therefore, the decision of threshold value becomes important factor.

### I. 서론

ATM (Asynchronous Transfer Mode)은 다양한 종류의 트래픽(음성, 영상, 데이터 등)을 다루기 위해 설계되었다. ATM은 고정된 크기의(53바이트) 패킷으로 이루어져 있으며 품질 요구조건(Quality Of Service, QOS)을 지원하기 위해 여러 가지 형태의 서비스 클래스를 지원한다. 그 서비스들은 Constant Bit Rate (CBR), Variable Bit Rate(VBR), Available Bit Rate (ABR), 그리고 Unspecified Bit Rate(UBR)이다.

ATM에서 데이터 트래픽은 ABR과 UBR서비스에 의해 제공되며, ABR 서비스는 페루프 피드백을 이용해 소스의 전송률을 제어하는 반면, UBR 서비스는 명시적인 폭주제어 메커니즘을 가지고 있지 않다. 링크 대역폭의 할당 순서는 처음에 CBR과 VBR클래스에 할당되고 남은 대역폭이 ABR과 UBR에 할당된다<sup>[1]</sup>.

TCP(Transmission Control Protocol)는 데이터 전송에 사용되는 가장 일반적인 트랜스포트 프로토콜로써 두 호스트들간에 신뢰할만하며 에러가 없는 데이터의 전송을 제공한다. TCP는 흐름제어를 위해 윈도우 기반의 프로토콜을 이용하며 수신기의 윈도우(RCVWND, Receiver's Window)와 폭주 윈도우(CWND, Congestion Window)의 두 윈도우에 의해 시행된다. TCP는 일반적인 목적의 프로토콜이므로 LAN, MAN, WAN에서 모두 잘 동작할 수 있다<sup>[2][3]</sup>.

ATM의 출현은 사용자와 망 제공자들이 높은 대역폭 용량과 새로운 애플리케이션의 사용을 가능케 하였다. 하지만 ATM이 성공적으로 정착되기 위해서는 많은 비용과 복잡성이 요구되기 때문에 가까운 장래에

\* 正會員, 建國大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kon Kuk University)

\*\* 正會員, (株)네오게이트 附設研究所  
(Research Center of Noegate Co.)

\*\*\* 正會員, 大林大學 電子情報通信科  
(Dept. of Electronics, Information & Communication, Daelim College)

接受日字:1999年5月10日, 수정완료일:1999年10月28日

가입자 단말까지 구현되기는 어려울 것이다. 따라서 현재 사용되고 있는 트랜스포트 프로토콜을 이용해 ATM망 위에서 TCP트래픽이 사용되는 것이 바람직할 것이다.

하지만 고속 ATM망에서는 TCP가 원활하게 동작하지 않는다<sup>[4]</sup>. 이 문제는 ATM망에서 필요한 분할 재조립에 커다란 원인이 있다. 즉, AAL(ATM Adaptation Layer)은 전송 시에 각 TCP세그먼트를 ATM셀로 분할하고 목적지에서 이 셀 들을 TCP세그먼트로 재조립한다. 이 과정에서 모든 셀들이 성공적으로 수신되었을 때만 재조립이 올바르게 처리될 수 있다. 만일 하나의 셀이 손실되면 그 세그먼트는 쓸모 없게 된다.

TCP over ATM은 ATM계층의 서비스 클래스에 따라 TCP over ATM ABR (TCP over ABR)과 TCP over ATM UBR (TCP over UBR)로 나뉘어진다. ABR 스위치는 좋은 성능을 보이지만 값이 비싸고 구현이 어려운 반면 UBR 스위치는 구현이 쉽지만 낮은 효율을 보인다. 따라서 UBR 스위치에 효율적인 알고리즘을 추가시켜 높은 성능을 갖도록 하는 것이 바람직할 수 있다. 본 논문에서는 EPD 방식을 사용하는 TCP over UBR의 동작 특성을 조사하였다. EPD 임계값의 설정, 교환기 내에서의 버퍼의 크기가 TCP의 성능에 어떤 영향을 미치는지 평가하였으며 이를 통해 최상의 퍼포먼스를 갖는 조건을 결정하려 했다. 이를 위해 버퍼의 크기에 따른 처리량의 변화와 EPD 임계값의 크기 변화에 따른 처리량의 변화를 조사해 성능 분석을 하였다.

## II. TCP over ATM의 동작

### 1. TCP 폭주제어

TCP는 두 호스트들간에 신뢰할만하며 에러가 없는 데이터의 전송을 제공 하기 위해 설계된 트랜스포트 계층 프로토콜이다<sup>[2]</sup>. TCP는 애플리케이션의 데이터를 전송하기 위한 수단으로써 IP를 이용하고 전송된 모든 데이터가 수신단에 오류 없이 도착하고 순서대로 재조립되도록 보장하기 위한 추가 기능들을 가지고 있다. IP와는 대조적으로 TCP는 호스트들이 데이터의 전송 시간 동안 접속이 지속되도록 하고 그 후에 접속이 끊어지도록 하는 접속지향형 프로토콜이다.

TCP는 폭주제어를 위해 윈도우 기반의 프로토콜을

이용한다. TCP접속은 망내의 패킷의 수를 제한하기 위해 종단간 흐름제어를 제공한다. 흐름제어는 두 개의 윈도우에 의해 시행되는데 전송측은 폭주 윈도우(CWND)를 두어서 망으로 전송될 수 있는 세그먼트의 수를 제어하며, 수신측은 수신기 윈도우(RCVWND)를 두어서 받아들일 수 있는 세그먼트의 수를 송신측에 알린다.

TCP 폭주제어 방식은 "Slow Start"와 "Congestion avoidance"단계로 이루어진다<sup>[3]</sup>. 처음에 CWND는 1 세그먼트로 설정되고 RCVWND와 최대 CWND의 최소값에 도달할 때까지 수신기로부터 허가응답을 수신할 때마다 한 세그먼트씩 증가한다. 이 단계를 "Slow Start" 단계라고 하며 CWND는 매 Round Trip Time(RTT)마다 두 배가 된다.

만일 TCP 세그먼트가 손실되면, 수신기는 잘못된 순서로 수신된 패킷에 대해 연속적인 허가 응답(duplicate ACKS)을 전송한다. 전송측은 마지막의 허가되지 않은 패킷에 대해 재전송 타임아웃을 유지한다. 만일 타임아웃이 발생하면 망이 폭주를 겪고 있다고 가정하게 되고 전송측은 THRESH라는 변수에 CWND의 1/2이 되는 값을 저장하고 CWND를 1로 재설정한다. 그 후에 전송측은 잃어버린 부분으로부터 시작해 세그먼트를 재전송한다. CWND는 THRESH에 도달할 때까지 새로운 ACK를 수신할 때마다 1만큼 증가하고, 매 RTT마다 한 세그먼트씩 증가하게 된다. 이 때 CWND는 선형적으로 증가하게 되며 이 단계를 폭주회피(Congestion Avoidance)단계라고 한다.

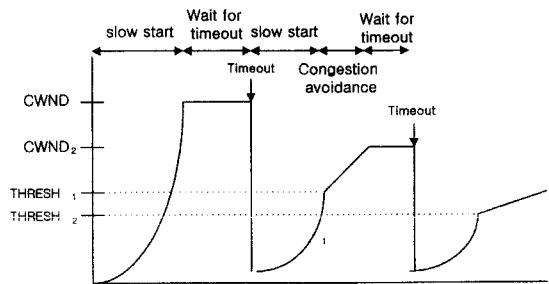


그림 1. 시간에 따른 CWND의 변화

Fig 1. TCP CWND vs Time.

### 2. ATM 폭주제어

UBR서비스는 망 내에 남아있는 가용 대역폭을 이용하여 셀 손실이나 지연에 민감하지 않은 데이터 애플

리케이션들을 위해 만들어졌다. UBR서비스는 CBR, VBR 및 ABR트래픽이 사용하고 남은 대역폭을 활용하여 전송하기 위해 제안되었다. UBR은 연결수락 제어를 통해 전송 대역폭이 할당되지 않으며 사용 파라미터 제어나 피드백 제어 등의 어떠한 트래픽 제어도 작용하지 않는다. UBR접속은 대역폭이 부족하다고 하여 거절되지 않으며, 스위치는 큐를 감시하기 위한 거의 아무런 기능도 하지 않고 폭주가 발생했을 때, 셀이나 패킷을 단지 버리기만 한다. 따라서, UBR은 셀 지연이나 셀 손실에 대한 서비스 품질 보장이 전혀 없는 방식이다. UBR을 위한 여러 가지 셀 드롭 방식이 존재하며 TCP over UBR에 있어서 셀 드롭 방식은 성능에 영향을 미치는 매우 중요한 요소가 된다.

3. TCP over ATM의 동작

그림 2는 TCP over ATM 프로토콜 구조이다. 이 프로토콜 스택은 종단간 프로토콜인 TCP에 인터페이스 되어 있는 애플리케이션을 보여준다. 데이터는 여러 계층에 의해 처리된 후에 ATM망을 통해 전송된다. 이 과정을 TCP over ATM 또는 TCP/ATM이라고 한다.

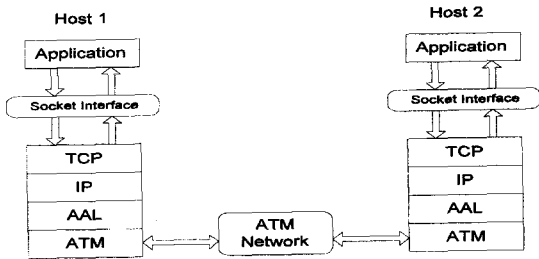


그림 2. TCP over ATM 프로토콜 스택  
Fig 2. TCP over ATM Protocol Stack.

ATM계층은 AAL계층으로부터 48바이트의 유료부하를 받아 HEC를 제외한 헤더를 생성하여 유료부하에 추가한다. 또한 링크상에 들어오는 VPI(Virtual Path Identifier)와 VCI(Virtual Channel Identifier)를 적절한 출력 링크의 VCI/VPI쌍으로 해석한다.

ATM Adaptation 계층은 전송을 위해 커다란 데이터 유닛을 48바이트의 조각으로 나누는 역할을 한다.

Internet Protocol(IP)은 비연결형 네트워크 계층 프로토콜이다. IP계층은 “best-effort” 를 기반으로 하여 개별 데이터그램 패킷들을 목적지로 라우팅할 책임이 있다. 종단간 에러 제어는 TCP와 같은 상위계층에 남겨진

다. 또한 IP는 전송에 적합하도록 커다란 TCP세그먼트를 작은 IP 데이터그램으로 나누는 단편화(fragmentation)을 지원하며 보통 Maximum Transmission Unit(MTU)으로 불리는 단일 유닛으로 전송될 수 있는 최대 길이의 데이터를 갖는다. AAL5에 대해 권고되는 MTU는 9180바이트이다.

응용프로그램은 망 소켓을 이용하여 TCP프로토콜과 통신을 한다. 소켓 인터페이스는 망 접속, 데이터 버퍼링, 그리고 데이터 스트림의 전송과 수신을 위한 기능을 포함한다.

4. TCP over ATM의 문제점

TCP/IP 트래픽은 일반적으로 패킷이 기본 단위인 패킷교환망을 통해 전송된다. 라우팅과 버퍼링은 패킷계층에서 수행된다. 만일 망내에서 폭주가 발생하고 교환기 버퍼가 차게 되면 전체 패킷이 버려진다. 이와는 대조적으로, ATM망은 기본 단위로 셀을 사용하고 스위칭과 버퍼링은 셀 레벨에서 발생하며 교환기 버퍼가 채워질 때 셀이 버려진다.

ATM망에서 망이 세그먼트로부터 몇 개의 셀만을 버리고 나머지 셀들을 전송하는 것은 가능하지만, 그와 같은 세그먼트에 있는 나머지 셀들은 본질적으로 의미가 없다. 왜냐하면 수신기가 잃어버린 셀 없이는 재구성할 수 없기 때문이다. 이와 같은 셀을 전송하는 것은 이미 폭주가 발생한 망에서 대역폭을 낭비할 뿐이다. TCP소스가 잃어버린 세그먼트를 재전송하는 것은 더 많은 대역폭을 낭비하는 것이다. 결과적으로 TCP over ATM에서 낮은 처리량을 초래한다.

이에 대한 대안은 하나의 셀이 버려지자마자 ATM 교환기가 한 패킷으로부터의 모든 셀들을 버리는 것이다. 이 방법을 Partial Packet Discard(PPD)라 하며, 이것을 “selective cell discarding”이라 한다<sup>[4]</sup>.

PPD는 per-VC를 기반으로 signal될 수 있다. PPD에서는 일단 교환기가 VC로부터 셀을 버리면 교환기는 AAL패킷의 끝을 지시하는 ATM셀 헤더의 ATM layer-user-to-user (AUU) 파라미터가 설정되었음을 알 때 까지는 동일한 VC로부터 계속해서 셀을 버린다. End-of-packet(EOP)셀 자체는 버려지지 않는다. AAL5는 단일 VC에서 패킷들의 동시 다중화를 지원하지 않기 때문에 AUU파라미터는 패킷 경계를 정의하는데 사용될 수 있다.

Partial Packet Discard 방식에서, 교환기는 단지 버

퍼가 오버플로우될 때만 셀들을 버리기 시작하기 때문에 개선에 한계가 있다. 교환기에 의해 버려지는 첫 번째 셀은 버퍼링된 셀이나 폭주된 링크상에 이미 전송된 셀들을 포함하는 패킷에 속할 것이다. 따라서 폭주된 링크는 파손된 패킷에 속하는 셀들의 일부분을 계속 전송할 것이다.

TCP over ATM의 유효 처리량은 버퍼가 오버플로우되기 전에 교환기가 전체 패킷을 버리면 훨씬 개선될 수 있다. Early Packet Discard 혹은 EPD라 부르는 이 방법은 폭주된 링크가 쓸모없는 셀을 전송하는 것을 방지하고 파손된 패킷의 총 수를 감소시킨다[4]. Partial Packet Discard와 마찬가지로 EPD는 per-VC를 기반으로 signal될 수 있다.

Early Packet Discard에서 교환기 버퍼가 오버플로우 되려고 하면 교환기는 AAL5프레임에 있는 모든 셀들을 버린다.

EPD방식에서, 교환기는 사용되고 있는 버퍼의 일부분이 고정된 임계값을 초과할 때마다 패킷들을 버린다. 임계값에 도달하면 교환기는 EPD를 사용하는 것으로 지정된 VC에 속하는 어떤 입력 패킷의 첫 번째 셀과 연이은 모든 셀들을 버린다. 버퍼 큐가 고정된 임계값을 초과하는 한, 교환기는 여러 접속으로부터 계속해서 패킷들을 버린다. 셀을 버릴 때 ATM교환기는 전체 셀들의 패킷을 버리는 패킷 기반의 교환기로 동작한다. EPD에서 중요한 결정 사항은 패킷을 버리기 위한 임계값의 선택이다. 버퍼 크기와 비슷한 임계값을 설정하면 버퍼가 효율적으로 사용될 수 있지만 많은 드롭과 재전송이 발생하게 된다. 반면에, 임계값이 버퍼의 크기보다 훨씬 작으면 드롭은 적게 발생하지만 버퍼의 이용률이 낮아진다. 버퍼 임계값을 결정하는데는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 임계값을 전체 버퍼 크기의 일정 비율로 설정하는 것이다. 이 방법은 작은 크기의 버퍼에서는 적당하겠지만 커다란 버퍼에서는 공간을 낭비할 수도 있게 된다. 또 다른 방법은 항상 적정한 양의 공간을 예약함으로써 임계값을 설정하는 것이다. [9]에서는 임계값으로  $\{버퍼의 크기\} - [최대 세그먼트 크기(MSS)] * [활성 소스의 수]$ 를 제시했다. 이 방법은 임계값에 도달했을 때 하나를 제외한 모든 접속이 각각의 첫 번째 셀들을 버퍼에 전송하는 것을 최악의 경우로 가정했다. 따라서 버퍼는  $MSS * [활성 소스의 수]$  만큼의 공간을 확보해야 할 것이다.

### III. 실험 및 고찰

본 논문은 여러개의 VBR 소스가 존재할 때 EPD 방식을 사용하는 TCP over UBR의 동작 특성을 알아보았다. EPD 임계값의 설정, 버퍼의 크기가 TCP의 성능에 어떤 영향을 미치는지 평가하였고 최상의 퍼포먼스를 갖는 조건을 결정하려 했다. 그림 4는 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 환경이다.

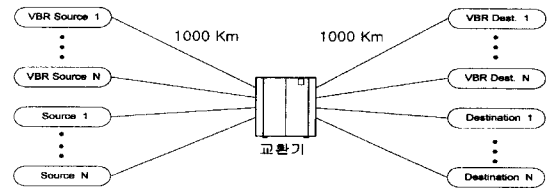


그림 4. 시뮬레이션 환경  
Fig 4. Configuration for simulation.

이 환경에서 backbone링크는 WAN환경의 근사화를 얻기 위해 1000Km로 구성되었으며 전체 링크는 155Mbps의 링크 속도를 갖는다. n개의 TCP 소스와 n개의 VBR 소스가 입력 송신원인데, 본 논문에서는 VBR소스의 수를 1개인 경우와 5개인 경우로 하였고 TCP 소스의 수는 30개로 하였다. 각 송신원은 무제한의 단방향 데이터를 전송한다. 즉, TCP는 윈도우가 허용하는 한 항상 전송할 패킷을 갖는다. 교환기는 UBR 소스에 대해 EPD방식을 사용하게 되며 각 환경에 대해서 5000ms동안 시뮬레이션 하였다. 처리량은 각 종단에서 단위 시간당 도착한 비트율로 계산하였다. VBR 소스는 버스트당 평균 셀의 수가 50개, 평균 휴지 시간이 250us, ON 상태에서 셀간의 거리가 5us인 on-off 소스를 사용하였다.

EPD 임계값을 버퍼 크기의 20%로 설정한 상태에서 버퍼의 크기가 100K, 300K, 500K, 1000K인 경우 처리량의 변화를 알아보았다. 여러 개의 VBR 소스가 데이터를 전송하므로 TCP 소스들은 낮은 처리량을 보일 것이다. 먼저 VBR 소스가 1인 경우와 5인 경우 버퍼의 크기에 따른 TCP 처리량을 알아보았다. VBR 소스가 1개인 경우에는 대체로 버퍼의 크기에 따라 처리량이 비례했지만 5개의 VBR 소스가 사용되었을 경우, VBR 소스들이 대부분의 대역폭을 점유함에 따라 TCP 소스들은 데이터를 전송할 기회를 많이 갖지 못하게 되고

모든 경우에 대해 TCP 소스들이 낮은 처리량을 보였다. 이와 같이 대역폭을 제한 받는 환경에서는 EPD 방식이 커다란 장점을 보이지 않았다.

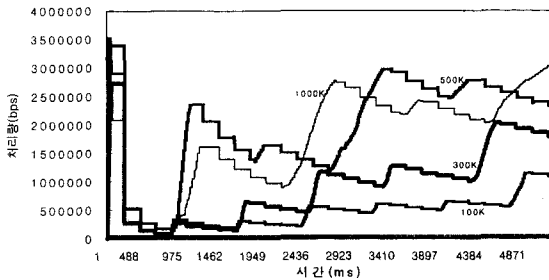


그림 5. VBR 소스가 한 개일 때 버퍼의 크기에 따른 처리량의 변화

Fig 5. A performance for the buffer size when the number of VBR source is one.

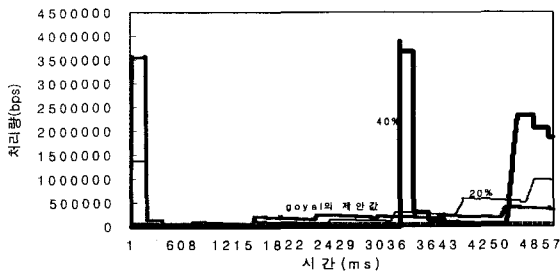


그림 6. VBR 소스의 수가 5개이고 버퍼의 크기가 100K인 경우 EPD 임계값에 따른 처리량의 변화

Fig 6. A performance for the EPD threshold when the number of VBR source is 5 and the size of buffer is 100K.

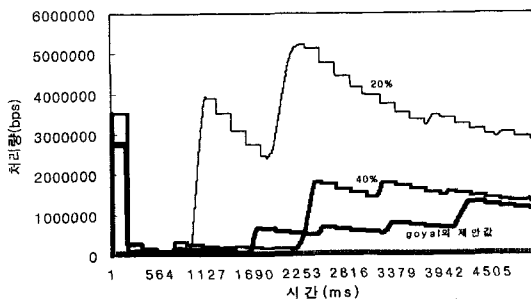


그림 7. VBR 소스의 수가 5개이고 버퍼의 크기가 500K인 경우 EPD 임계값에 따른 처리량의 변화

Fig. 7. A performance for the EPD threshold when the number of VBR source is 5 and the size of buffer is 500K.

여러 개의 VBR 소스가 사용된 경우 100K와 500K의 버퍼 크기에 대하여 EPD 임계값을 다르게 설정했을 때는 임계값을 버퍼 크기의 20%로 했을 때 가장 좋은 처리량을 보였다.

5개의 VBR 소스가 사용되었을 때 버퍼 크기가 100K 일 때는 임계값의 설정 방법에 관계 없이 모두 낮은 처리량을 보였으나 버퍼 크기가 500K일 때는 버퍼 크기의 20%로 임계값을 설정했을 경우 가장 좋은 처리량을 보였다.

이상에서 버퍼의 크기가 작은 경우에는 goyal의 제안값이 가장 좋은 성능을 보이지만 버퍼의 크기가 커짐에 따라 임계값이 버퍼 크기의 20% 정도가 될 때 좋은 성능을 나타냈다. 또한, 버퍼의 크기가 클수록 처리량이 향상되는 것을 알 수 있다. 즉 버퍼의 크기는 TCP over ATM의 성능 향상에 중요한 요소가 되며, 동일한 환경 내에서도 EPD 임계값을 다르게 설정함에 따라 처리량이 변화하는 것을 알 수 있다. 따라서 적절한 양의 임계값을 결정하는 것이 TCP over UBR의 성능을 결정하는데 중요한 요소가 된다.

#### IV. 결 론

TCP는 데이터 전송에 사용되는 가장 일반적인 프로토콜이며, 자체 폭주제어 메커니즘을 통해 두 호스트들 간에 신뢰할만한 데이터의 전송을 제공한다. 하지만 고속 ATM망에서는 fragmentation 문제로 인해 TCP가 원활하게 동작하지 않는다.

본 논문에서는 다중 VBR 소스가 사용돼 대역폭을 제한 받는 환경에서 EPD 임계값의 설정을 달리 할 경우 TCP over UBR의 특성을 알아보았다. 여러 경우에 대해서 버퍼의 크기가 TCP over ATM의 성능 향상에 중요한 요소가 된다는 것을 재확인하였고, 동일한 환경에서도 EPD 임계값을 다르게 설정함에 따라 처리량이 변화하는 것을 알 수 있었다. EPD 임계값을 버퍼의 크기에 대해 고정된 값을 사용하였을 때, 임계값이 너무 크거나 작을 경우에는 낮은 처리량을 보였다. 너무 클 경우에는 버퍼 사용 효율이 좋아지지만 셀 손실의 가능성이 존재하고 너무 낮을 경우에는 버퍼의 사용 효율이 떨어져 전체 처리량에 영향을 미치게 된다. 따라서 적절한 양의 임계값을 결정하는 것이 TCP over UBR의 성능을 결정하는데 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 EPD 방식을 사용하는 TCP over

UBR의 성능에 영향을 미치는 EPD 임계값의 설정에 대해 알아보았다. 향후에는 각 TCP 소스들의 공정성을 보장하는 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이며, 신호원의 특성을 고려한 버퍼 크기 및 임계치 설정을 위한 다양한 실험을 통해 최적화된 임계치를 구할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0", April 1996, available as ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.ps.

[2] A. S. Tanenbaum, "Computer Networks", Prentice-Hall, 1996.

[3] W. R. Stevens, "TCP/IP Illustrated, Vol 1", Addison-Wesley, 1994.

[4] A. Romanov, S. Floyd, "Dynamics of TCP Traffic over ATM Networks", IEEE JSAC, Vol. 13, No. 4, May 1995.

[5] U. Black, "ATM: Foundation for Broadband networks", Prentice Hall, 1995.

[6] S. Kalyanaraman, R. Jain, S. Fahmy, R. Goyal, F. Lu, S. Srinidhi, "Performance of TCP/IP over ABR", Globecom '96, London, November 1996.

[7] H. Ohasaki, M. Murata, H. Suzuki, C. Ikeda, H. Miyahara, "Rate-Based Congestion Control for ATM Networks", ACM SIGCOM. 1994.

[8] C. Fang, A. Lin, "On TCP Performance of UBR with EPD and UBR-EPD with a Fair Buffer Allocation Scheme", AF-TM 95-1645, December 1995.

[9] Rohit Goyal, Raj Jain, Shiv Kalyanaraman, Sonia Fahmy, "UBR+: Improving Performance of TCP over ATM-UBR service", Proc. ICC'97, June 1997.

저 자 소 개



李 璉 雨(學生會員)

1970년 3월 28일생. 1995년 2월 경기대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 8월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 2월~현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야

는 ATM트래픽 관리, UNIX 시스템, B-ISDN등임



劉 英 吉(正會員)

1959년 7월 9일생. 1982년 건국대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1992년 3월~현재

안양 대림대학 전자정보통신과 교수. 주관심분야는 Computer Network, ATM, Microwave통신 등임

金 珍 泰(正會員)

1966년 3월 9일생. 1991년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 8월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1991년 1월~1992년 3월 삼성전자 연구원. 1993년 8월~1997년 8월 (주)광명제어연구소 과장. 1997년 9월~1998년 4월 (주)미래기술 연구소장. 1998년 4월~현재 (주)네오게이트 연구소장. 주관심분야는 ATM, 컴퓨터 네트워크, DCS, TMS, ITS 등임