

ATM 네트워크에서 ABR 서비스의 셀 지연 방식에 관한 연구 (A Study of Cell delay for ABR service in ATM network)

이 상 훈* 조 미 령** 김 봉 수***
(Sang-Hun Lee) (Mee-Ryoung Cho) (Bong-Soo Kim)

요 약

ATM 네트워크의 목적은 다양한 네트워크의 접속을 지원하는 것이다. ATM 네트워크에서는 트래픽 제어 방식으로 ACR(Allowed Cell Rate)의 변화를 이용하여 링크 대역폭의 이용률을 증대시키는 트래픽 제어 방식인 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 스위치를 이용한 ABR(Available Bit Rate) 서비스 방법을 사용한다. 그러나 ABR 서비스에서는 서로 다른 RTT(Round Trip Times) 접속에 따른 서로 다른 처리 방법을 사용한다.

따라서 본 논문에서는 서로 다른 처리방법에 따른 불공정성을 개선하기 위해 ABR 셀 지연 방법을 사용한다. 본 연구의 셀 지연방법에서는 3가지 셀 지연 참조 매개변수가 정의되어 있으며 RM(Resource Management) 셀 메시지에 반영된다. 제안한 방식의 성능을 평가하기 위하여 ABR 지연방법과 ABR RMM(Relative Rate Marking) 방법 사이에서 각각의 TCP 접속의 공정성을 비교한다. 그리고 병목 링크 대역폭을 공유하는 서로 다른 RTT를 갖는 6개의 TCP 접속과 백그라운드 트래픽을 갖는 간단한 ATM 네트워크 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. TCP 효율에 기반한 시뮬레이션을 수행한 결과 ABR 셀 지연 방식이 TCP 접속 사에서 공정성을 개선한다는 것을 알 수 있다.

ABSTRACT

A general goal of the ATM(Asynchronous Transfer Mode) network is to support connections across various networks. ABR service using EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) switch controls traffics in ATM network. EPRCA switch, traffic control method uses variation of the ACR(Allowed Cell Rate) to enhance the utilization of the link bandwidth. However, in ABR(Available Bit Rate) service, different treatments are offered according to different RTTs(Round Trip Times) of connections.

To improve the above unfairness, this paper presents ABR DELAY mechanism, in which three reference parameters for cell delay are defined, and reflect on the messages of RM(Resource Management) cells. To evaluate our mechanism, we compare the fairness among TCP connections between ABR DELAY mechanism and ABR RRM mechanism. And also we execute simulations on a simple ATM network model where six TCP connections and a background traffic with different RTTs share the bandwidth of a bottleneck link. The simulation results, based on TCP goodput and efficiency, clearly show that ABR DELAY mechanism improves the fairness among TCP connections.

* 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수
** 정회원 : 광운대 일반대학원 전자공학(박사) 재학
*** 정회원 : 연광여자정보교육고등학교 교사

논문접수 : 2001. 9. 5.
심사완료 : 2001. 9. 17.

1. 서론

ATM 전송 방식은 기존의 회선 교환망(circuit switched network)이나 패킷 교환망(packet switched network)과 같은 전용망의 개념에서 탈피하여 음성, 화상, 데이터등 고속 광대역 정보를 효과적으로 전송할 수 있으며 화상 회의 서비스등과 같은 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.[1]

ATM 포럼에서는 이와 같은 다양하고 통합된 트래픽 특성을 갖는 광대역 종합 정보 통신망에서 트래픽의 특성 및 QoS(Quality of Service)의 요구 사항에 따라 트래픽을 CBR(Constant Bit Rate), VBR(Variable Bit Rate), ABR(Available Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate)등으로 분류하여 특성에 따른 서비스를 제시하고 있다.[2]

특히 다양한 특성의 트래픽을 효과적으로 다중화할 수 있는 ATM 기술은 'ATM 스위칭 노드에서 트래픽 폭주가 발생하면 전송을 위한 접속 지연이 발생하고 스위치 내부에서 셀의 손실이 발생하게 된다. 따라서 ATM 망에서는 이러한 특성을 고려하여 다양한 특성의 트래픽에 대한 스위치의 점유율을 분석하고 폭주 상태를 해소할 수 있는 버퍼링 방식과 최적의 버퍼 규모가 제시되어야만 한다.

ATM 망 내에서 전송되는 셀은 각각의 특성 및 요구하는 QoS에 따라 적절한 우선 순위가 결정되며 시간 우선순위와 공간 우선 순위로 분류되는 우선 순위 제어는 상호 상반되는 특성을 갖고 셀을 처리하기 때문에 ATM 스위치 내부에서 서비스를 받기 위해 대기하는 셀은 버퍼 점유 방식에 따라 전송 성능이 변화될 수 있다.

ATM은 지연과 지터 그리고 셀 손실에 대해 명확한 허용을 갖는 응용 프로그램을 잠재적으로 지원하는 네트워크 프로토콜로서 B-ISDN에 채택되었다. 이러한 요구 스펙트럼을 처리하기 위하여 ATM 포럼에서는 서비스 분류를 정의한다.[3]

- (1) CBR(Constant Bit Rate) 서비스는 고정된 대역폭을 요구하는 접속에 사용된다.
- (2) VBR(Variable Bit Rate) 서비스는 대역폭과 지연에 대한 요구가 정확하게 정의된 버스티한 트래픽 특성을 갖는 응용에 사용된다.

- (3) UBR(Unspecified Bit Rate) 서비스는 최소한의 서비스를 요구하는 응용에 사용된다.
- (4) ABR(Available Bit Rate) 서비스는 ATM 네트워크에서 매우 버스티한 데이터 응용에 적합하다. ABR 서비스에서 접속이 이루어지는 순간을 제외하고는 소스는 네트워크의 요구에 따라 전송율을 증가시키거나 감소시킬 수 있어야 한다. 대부분의 ABR 서비스 트래픽 파라미터들은 예측이 불가능하다. 반면에 뛰어난 처리량을 얻기 위해서는 셀을 손실하게 된다. ABR 서비스에서 대역폭은 정적으로 할당되지 않는다. 대신에 PCR(Peak Cell Rate)과 MCR(Minimum Cell Rate)로 명세된다. 각 접속에서 전송율은 RM(Resource Management) 셀을 사용한 네트워크 피드백 메시지에 기반한 PCR과 MCR 사이에서 제어된다. 여러 가지 피드백 제어가 ATM 포럼에 정의되어 있으며 그들 중의 하나로부터 RRM(Relative Rate Marking)을 채택하였다. RM 셀이 소스와 목적지 사이의 접속에 전송되므로 짧은 RTT와의 접속이 긴 RTT 접속보다 훨씬 빨리 전송율을 갱신할 수 있다. 이것은 접속들 사이의 공정성을 깨뜨린다. 본 논문에서 공정성의 정의는 모든 접속들 사이에서 똑같이 대역폭을 공유한다는 것이다. ATM ABR 서비스에서 불공정성 문제를 해결하기 위하여 본 논문은 ABR 지연 방식을 사용하였다.[4][5]

2. ABR 트래픽

ATM 트래픽 제어는 크게 두 가지로서 그 하나로는 사용자의 접속 시 설정하는 QoS 파라미터에 따라 스위치가 트래픽을 관리하는 UPC(Usage Parameter Control)와 같은 예방제어(Preventive Control)와 네트워크에서 혼잡이 생겼을 경우 혼잡을 줄이기 위해 반응하는 반응제어(Reactive Control)로 구분한다. 대부분의 ATM 망에서는 혼잡을 미연에 방지하는 예방제어가 주된 혼잡제어 방식으로 대두되고 있으나 ABR 서비스에 있어서 UPC는 사용자가 설정한 MCR(Minimum Cell Rate)을 보장하고 PCR(Peak

Cell Rate)를 넘지 않도록 관리하는데 ABR 트래픽은 MCR이 0이 되는 경우가 많은 특징이 있으므로 다른 서비스와는 달리 예방제어보다는 반응제어가 혼잡제어에 주로 이용된다. 반응제어에 있어서 무엇보다 중요한 요인은 스위치내의 혼잡이 발생한 경우 소스(Source)에게 전송률을 감소시키도록 유도하는 피드백 방법이다.[6]

ABR 서비스를 위한 혼잡제어는 크게 크레딧 기반(Credit-based) 혼잡제어 방식과 전송률 기반(Rate-based) 혼잡제어 방식이 있다. 크레딧 방식은 전송되는 트래픽을 링크 단위로 제어하는 방식으로 대역폭과 전송지연이 큰 고속 통신망의 환경에서 사용하기에는 적합하지 않다. 그러나 전송률 기반 방식은 송신원에서 전송되는 데이터의 속도를 종단 사이에서 직접 제어할 수 있기 때문에 고속 통신망 환경에 적합한 흐름제어 방식이라고 평가되고 있다.

다음은 서로 다른 특징을 가진 크레딧 기반 방식과 전송률 기반 방식의 장단점들을 비교한다[7]

(1) VC 단위 큐잉

크레딧 기반 방식은 각 VC마다 분리된 큐를 가져야 한다. VC 단위의 큐잉은 VC수에 비례하여 스위치가 복잡해지므로 WAN 환경에서와 같이 매우 많은 수의 VC를 지원할 대규모 스위치를 구현하는 데는 상당한 복잡성을 유발하고 있다. 그러나 전송률 기반 방식은 VC 단위의 큐잉이 필요하지 않은 반면 큐잉 방식은 스위치 설계에 따라 달라질 수 있는 유연성을 가지고 있다.

(2) 셀 손실

고정 크레딧 기반 방식은 사용 가능한 버퍼만큼 셀을 전송할 수 있기 때문에 셀 손실을 완전히 방지할 수 있는 장점이 있다. 적응 크레딧 방식이나 전송률 기반 방식은 과부하 상태에서는 버퍼 범람에 의한 셀 손실이 발생할 수 있으나 버퍼를 충분히 크게 하여 원하는 셀 손실률을 어느 정도 보장할 수 있다.

(3) Ramp-Up 시간

고정 크레딧 기반 방식은 VC들이 링크를 완전하게 이용하는데 걸리는 시간이 매우 짧아 링크에 새로운 가용 대역폭이 생기면 즉시 사용이 가능하다.

그러나 적응 크레딧 방식이나 전송률 기반 방식들은 몇 번의 피드백 제어를 거쳐야 링크의 가용 대역폭을 완전히 이용할 수 있기 때문에 몇 배의 왕복 전송지연 시간이 걸리게 된다.

(4) 위반 사용자의 영향

VC 단위의 큐잉의 장점은 위반 VC가 다른 VC를 방해할 수 없다는 점이다. 크레딧 기반 방식은 VC 단위의 큐잉을 사용하지만 고정 버퍼 할당 방식이 아닌 적응형 크레딧 방식에서는 위반한 VC가 전송률을 증가시킴으로써 버퍼를 상대적으로 많이 차지하는 문제점이 있다. 전송률 기반 방식에서도 필요하다면 VC 단위의 큐잉을 구현하여 위반 사용자가 다른 사용자에게 영향을 주지 않게 할 수 있다.

(5) 버퍼 크기

크레딧 기반 방식은 적응 버퍼 할당 방식을 도입하여 버퍼 요구량을 크게 감소시켰으나 여전히 전송률 기반 방식에 비해서는 버퍼량이 많다. 크레딧 기반 방식은 필요한 버퍼 크기가 VC의 수 뿐만 아니라 전송 링크의 전송지연에 비례하여 증가한다. 따라서 매우 많은 VC가 존재하는 WAN 환경에서 크레딧 기반 방식은 필요한 버퍼가 엄청나게 커지는 문제점이 있다.

(6) 스위치 설계의 유연성

전송률 기반 방식은 스위치의 구현 면에서 상당한 유연성을 갖는다. 즉 스위치 간에 서로 다른 큐잉 방식이나 알고리즘을 사용하더라도 동일한 망에서 상호 운용이 가능하다. 반면에 크레딧 기반 방식은 각 스위치마다 반드시 VC 단위의 큐잉을 사용해야 한다.

(7) 구현상 복잡도

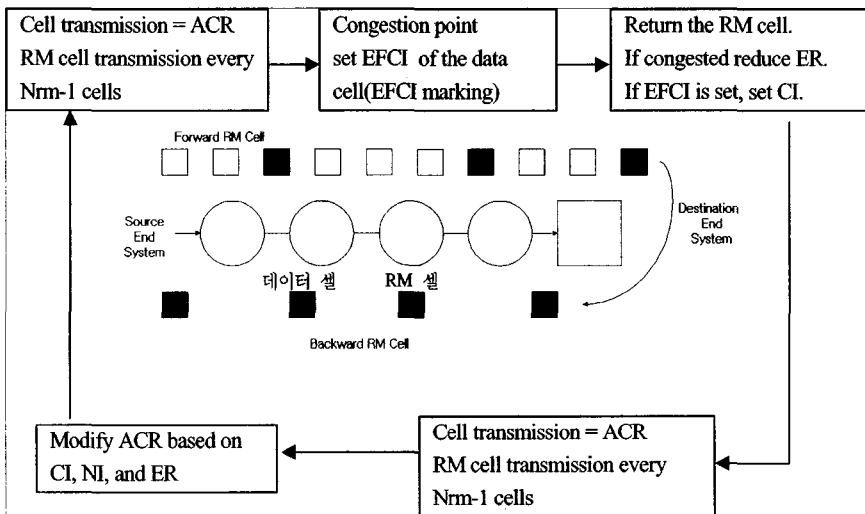
크레딧 기반 방식을 사용하게 되면 스위치는 전송률 기반 방식에 비해 상대적으로 복잡하지만 단말기는 간단하게 구현이 가능하다. 반면 전송률 기반 방식은 스위치의 구현이 비교적 간단하지만 단말기의 구현은 크레딧 기반 방식에 비해 복잡해진다.

(8) 공정성

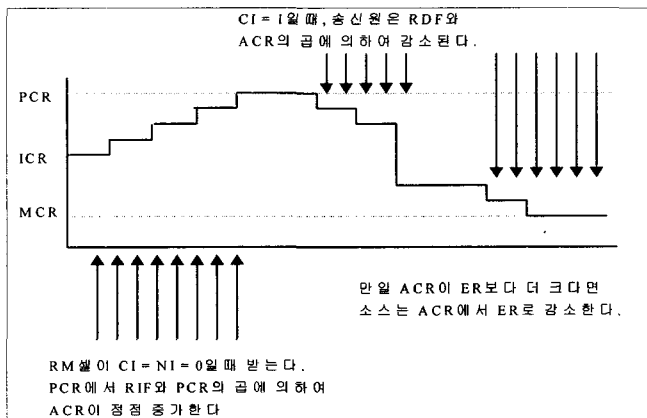
크레딧 기반 방식은 VC 단위의 큐잉을 사용하기 때문에 전송률 기반 방식에 비해 VC간에 전송 대역폭을 보다 공평하게 나누어 사용하는 것이 가능하다. 그러나 적응 크레딧 기반 방식을 사용하는 경우는 VC간의 공평성이 완전하게 보장되지 않는다. 기존의 전송률 기반 방식은 공정성에 큰 문제가 있었으나 EPRCA 방식에서는 fair share에 의한 지능형 마킹을 도입함으로써 공정성이 크게 개선되었다.

3. ABR 서비스에서 EPRCA 스위치 방식

EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 방식은 기존의 PRCA(Proportional Rate Control Algorithm) 방식에 공정한 분배를 통한 ER 개념을 도입하여 VC간의 불공평성을 개선한 방식으로 가상경로마다 큐를 관리하지 않고 각 가상경로의 적절한 전송률을 계산하는 것이다.[8]



[그림 1] 순방향 RM 셀과 역방향 RM 셀
[Fig. 1] Forward RM Cell and Backward RM Cell



[그림 2] EPRCA의 ACR 전송률의 변화
[Fig. 2] The variation of ACR in EPRCA

이 방식은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 송신원은 N개의 데이터셀을 전송한 다음 하나의 RM(Resource Management)셀을 전송하고 이 RM셀을 역방향으로 받기 전에는 각각의 데이터셀을 전송한 후에 일정 비율로 전송속도를 감소시킨다.

현재 전송률을 나타내는 CCR(Current Cell Rate) 필드, 송신원에 보장되는 최소 전송률인 MCR (Minimum Cell Rate) 필드, 혼잡발생 여부를 나타내는 CI(Congestion Indication) 비트를 가진다. 송신원은 순방향 RM셀의 ER 필드를 자신이 원하는 최대 전송률인 PCR로 초기화하고 CI 비트를 0으로 설정하여 전송한다.

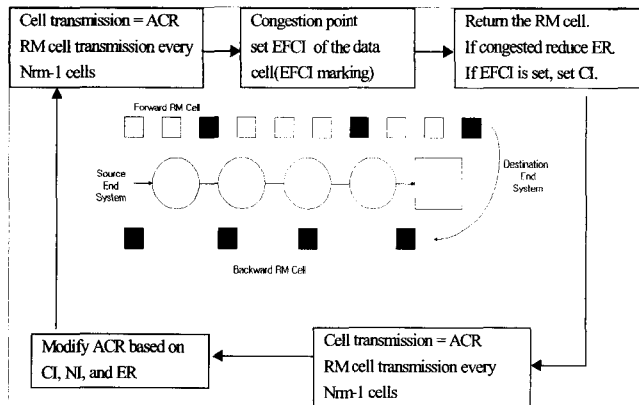
RM셀은 망에서 허용할 수 있는 전송률을 송신원에게 알리기 위해 ER 필드, 해당 VC의 각 스위치는 지수 가중 평균치를 이용하여 Fair Share를 계산하고 필요하다면 되돌아오는 역방향 RM셀의 ER 필드를 Fair Share를 사용하여 줄인다. 스위치는 ER을 설정하는 것 외에 큐 길이가 임계치 보다 커지면 역방향 RM셀의 CI 비트를 설정한다. 수신원은 RM셀을 받으면 받은 RM셀을 되돌려 보내고 데이터 셀의 EFCI 비트를 감시하다가 가장 최근 데이터 셀의 EFCI 비트가 설정되어 있었으면 RM셀의 CI 비트를 설정하여 송신원으로 돌려보낸다. 송신원에서 전송한 RM셀이 수신원을 경유하여 CI 비트가 0인 상태로 수신되었을 경우에는 연결 설정 시에 결정된 AIR 만큼 증가시켜 지금까지 감소된 전송속도를 보상한다. 이때 ACR은 고정된 크기의 PCR × RIF 만큼씩

증가되지만 PCR값을 초과할 수 없다. 송신원은 역방향 RM셀을 수신하면 ACR이 MCR과 PCR 사이에서 계산되는 과정은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{IF CI} = 0 \text{ (정상상태)} \\ & \quad \text{ACR} = \text{Max}(\text{PCR} \times \text{RIF}, \text{MCR}) \\ & \text{IF CI} = 1 \text{ (혼잡상태)} \\ & \quad \text{ACR} = \text{Max}(\text{ACR} \times \text{RDF}, \text{MCR}) \\ & \quad \text{ACR} = \text{Min}(\text{ACR}, \text{ER}, \text{MAX}) \end{aligned}$$

여기에서 ACR은 망이 허용하는 단말 전송속도의 상한값이고 RIF는 ACR의 증가계수, RDF는 ACR의 감소계수이다. 한편 수신된 RM셀이 CI 비트가 1로 설정된 상태로 수신되었을 경우에는 ACR은 연결 설정시에 결정된 RDF값과 현재의 ACR을 곱하여 ACR을 감소시키는데 MCR이하로 감소시킬 수는 없다. 이는 망이 혼잡상태일 때 망으로의 입력 트래픽을 줄임으로써 혼잡상태를 해제시키기 위한 방법이다. [그림 2]는 ACR의 변환과정을 나타낸 것이다. EPRCA방법은 ER 스위치뿐만 아니라 보다 간단히 구현되는 EFCI 스위치도 혼합하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

EPRCA 스위치 방식은 SES(Source End System)와 DES(Destination End System)로 나누어 설명할 수 있다. SES는 먼저 파라미터의 초기값을 설정한 후 제어가 시작된다. N개의 데이터셀을 전송한 후에 RM셀을 전송하고 셀을 하나씩 전송할 때마다 이미



[그림 3] ATM 모델
[Fig. 3] ATM model

설정된 셀 허용 전송률인 ACR을 감소시키고 RM셀을 주기적으로 발생시킨다. [그림 3]은 ATM망에서의 송신원, 수신원, 스위치들 간의 접속 모델을 나타낸 것이다. 트래픽 제어방식에서는 송신원은 데이터 셀 전송의 일정간격 즉, ATM Forum 표준 규격에서 정하고 있는 32개(Nrm)의 데이터셀을 전송할 때마다 순방향 RM셀을 보내며 CCR 필드에 현재 전송률 정보를 실어 보낸다. 수신원은 순방향 RM셀을 받으면 역방향 RM셀을 송신원으로 되돌려 보내게 된다.

EPRCA 스위치는 Fair Share를 계산하기 위해 현재 RM셀의 CCR값에서 지수 가중 평균(Exponential Weighted Averaging) 계산 방법을 이용하여 MACR을 구하고 Fair Share는 구해진 MACR을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$MACR = (1 - AV) MACR + AV \times CCR \quad (1)$$

$$Fair\ Share = SW_DPF \times MAC \quad (2)$$

여기서 AV는 지수 가중 평균치를 위한 계수로서 $\frac{1}{16}$ 이고 SW_DPF는 스위치의 상황에 따라 1보다 작은 값으로 설정된다. EPRCA 스위치 알고리즘은 fair share의 계산을 위해 순방향 RM셀의 CCR 필드 값을 사용하여 스위치가 현재 혼잡상태이면 CCR이 MACR보다 낮은 VC에 대해 식(1)을 사용하여 MACR을 갱신하고 스위치가 혼잡상태가 아니면 CCR이 $MACR \times \frac{7}{8}$ 보다 큰 VC에 대해 역시 식

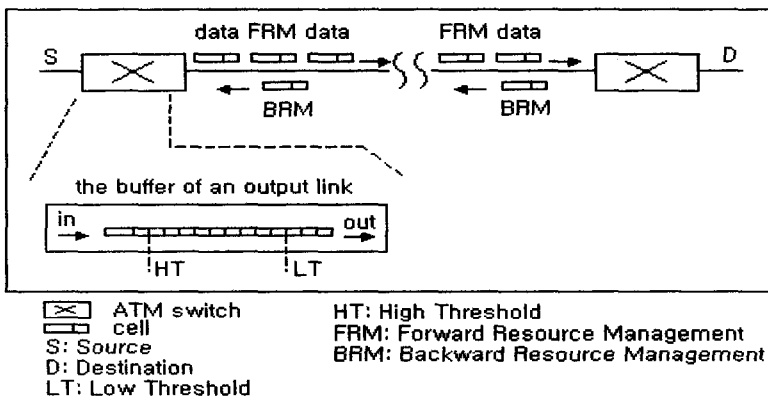
(1)을 사용하여 MACR을 갱신한다. 스위치는 식(1)과 식(2)와 같이 구해진 MACR을 이용하여 fair share를 계산하고 필요에 따라 역방향 RM셀의 ER 필드값을 Fair Share에 근거하여 줄인다. 스위치는 경미한 혼잡상태와 심각한 혼잡상태를 나타내는 두 개의 임계치를 가지고 있다. 먼저 심각한 혼잡상태이면 모든 VC에 대하여 ER을 $\frac{1}{4} \times MACR$ 이하로 감소시키고 경미한 혼잡상태이면 CCR이 MACR의 $\frac{7}{8}$ 보다 큰 VC에 대해서만 선택적으로 ER을 $\frac{15}{16} \times MACR$ 이하로 감소시킨다.

4. ABR 서비스의 셀 지연 방식

4.1 ABR RRM 방식

ATM 스위치 특성 명세에서 가능한 운영 모드의 프레임워크만을 정의한 것과는 반대로 ABR 명세에서는 소스와 목적지의 동작을 보다 정확하게 정의한다.

소스의 관점에서 ABR 전송 능력은 첫째 정보의 흐름에서 주기적으로 RM 셀 삽입하기와 둘째 네트워크로부터 도착하는 RM 셀 감시하기 그리고 세 번째로 피드백 정보에 따르기와 같은 규칙으로 요약될 수 있다. 목적지의 관점에서 ABR 동작 규칙은 가능



[그림 4] RM 셀의 흐름

[Fig. 4] Flow Process of RM Cells

한 빨리 수신된 RM 셀 돌려보내기 이다. 소스에서 목적지로 가는 RM 셀을 Forward RM 셀 (FRM) 이라고 하며 반대로 목적지에서 소스로 가는 RM 셀은 Backword RM 셀 (BRM) 이라고 한다. ATM 스위치 관점에서 ABR 성능 관리는 훨씬 복잡하다. 스위치는 ABR 접속을 운반하는 각각의 링크와 이 측정을 기초로 하여 실제 적재를 평가하며 혼잡을 회피하고 전송율을 제어하기 위하여 ABR 소스로 가는 피드백 정보를 갖는다.

ATM 스위치에 의해 ABR 접속을 제어하는 전형적인 알고리즘 중의 하나인 RRM(Relative Rate Marking) 방식이다.[9][10] ABR RRM 방식에서 스위치는 RM 셀 두 bit를 통해 IR(Increase Rate), KR(Keep Rate), DR(Decrease Rate)이라는 매우 간단한 정보를 운반할 수 있다. 게다가 스위치는 RM 셀의 포워드나 백워드 또는 양방향 모두의 흐름을 작동할 수 있다.

한 가지 가정을 예로 들자면, RM 셀의 간단한 흐름 처리가 [그림 4]에서 보여 진다. [그림 4]에서 각각의 RM 셀은 소스에 의해 FRM이라고 이름 붙여지며 목적지에서 모든 RM 셀은 BRM이라고 재명명되어 소스로 다시 돌려 보내진다. 각각의 RM 셀은 3개의 메시지(IR, KR, DR)중의 하나를 운반한다.

ABR 소스는 항상 IR 메시지를 FRM이라고 명명한다. 네트워크에 있는 모든 ATM 스위치는 혼잡 제어 알고리즘이 요구한다면 스위치를 가로지르는 VCs(Virtual Connections)에 흐르는 BRM 셀의 메시지를 변경할 수 있다. 혼잡을 인식하기 위하여 각각의 ATM 스위치는 나가는 링크의 앞부분에 있는 각 버퍼에 두 개의 threshold(LT(Low Threshold)와 HT(High Threshold))를 준비한다. 각각의 스위치는 각 출력 링크의 버퍼 점유를 감시한다. 소스가 BRM 셀을 받을 때 네트워크로부터 받은 BRM 셀에 있는 메시지에 따라 전송율을 갱신한다. 모든 ABR 사용자들은 전송율을 위해 세이핑 파라미터의 초기 셋 뿐만 아니라 PCR과 MCR 값을 네트워크와 협상한다. PCR과 MCR은 BRM 셀에서의 메시지 전송에 관계없이 동작한다.

그러나 ATM ABR 서비스는 긴 RTT와의 접속과 반대이다. 예를 들어 네트워크 조건이 IR 상태일 때 짧은 RTT와 접속하는 전송율은 긴 RTT와 접속한 것보다 훨씬 빨리 증가할 수 있다.[11~13]

4.2 ABR 셀 지연 방식

서로 다른 RTT와의 접속 사이에서 공정성을 개선하기 위하여 이번 장에서는 지연이라는 파라미터에 기반한 ABR 셀 지연 방식을 제안한다. 여기서는 셀 지연을 위한 3개의 참조 파라미터를 사용한다. 첫 번째 파라미터는 각 RM 셀의 셀 지연이며 RM 셀에 있는 새로운 필드(셀 지연)에 저장된다. FRM 셀이 생성되면 셀 지연 필드는 0으로 초기화된다. 어떠한 스위치내에 있는 출력 링크 버퍼든지 통과할 때마다 버퍼에서의 대기 시간은 셀 지연 필드에 추가된다. 버퍼에서의 대기 시간은 RM 셀이 버퍼를 출발하여 버퍼로 들어올 때까지의 시간이다.

두 번째 파라미터는 각각의 VC의 셀 지연(cell_delay[VC])이고 세 번째 파라미터는 VC의 평균 셀 지연(mean_cell_delay)이며 각각의 스위치에 의해 관리된다. 어떤 VC의 FRM 셀이든지 출력 링크의 버퍼로부터 떠날 때마다 VC의 셀 지연은 식(3)에 의해 재계산 된다. 이때 수식에서 셀 지연은 FRM 셀에 있는 셀 지연 필드의 값이다. 평균 셀 지연은 VC의 수로 나눈 스위치에 있는 모든 셀 지연의 평균으로 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{cell_delay[VC]} &= \text{cell_delay[VC]} \times 0.8 \\ &+ \text{cell_delay} \times 0.2 \end{aligned} \quad (3)$$

ABR 지연 방식에서는 어떤 ATM 스위치든지 출력 링크에 있는 각각의 버퍼는 여전히 2개의 threshold(RRM 방식에서와 같은 LT, HT)를 갖는다. 또한 각각의 스위치는 각 출력 링크의 버퍼 점유를 감시한다. 만약 버퍼에 저장된 셀의 개수가 LT보다 작으면 고려된 버퍼에 대응하는 VC의 BRM 셀에 있는 메시지는 변하지 않는다. 반면에 BRM 셀의 메시지는 현재 버퍼의 크기뿐만 아니라 위의 셀 지연에 의해서 정의된다. 셀 지연의 사용은 접속들 사이의 공정성을 위한 것이며 이것은 서로 다른 ABR 지연 방식과 ABR RRM 방식 사이에서 가장 중요하다.

따라서 ABR 셀 지연 방식에서 파라미터값은 다음과 같이 설정한다.

<표 1> ABR 지연 방식에서 IR, KR, DR, DDR 메시지 설정

<Table 1> IR, KR, DR and DDR Message Setting in ABR DELAY

현 버퍼 크기(CB)	cell_delay[VC](CD)	BRM 셀에서 허용된 메시지
CB <LT		IR, KR, DR, DDR
LT ≤ CB <HT	CD <MCD/P	DR, DDR
	MCD/P ≤ CD <MCD × Q(A2)	KR, DR, DDR
	그 외의 경우	IR, KR, DR, DDR
HT ≤ CB	CD <MCD/P	DDR
	그 외의 경우	DR, DDR

여기에서 DDR(Double Decrease Rate) 메시지는 DR 메시지보다 2배나 빨리 현재 전송율을 감소하도록 요구한다. cell_delay[VC]가 미리 정의된 상수 P (≥ 1)로 나눈 mean_cell_delay보다 작다면 VC의 RTT는 짧다고 고려된다. 그러므로 ABR 지연 방식은 긴 RTT 보다는 짧은 RTT를 갖는 VC의 전송율을 제한한다. P=Q=1일 때 RM 셀에 있는 KR 메시지가 DR 또는 DDR 메시지로 쉽게 갱신될 수 있다는 것은 의미가 없고, IR과 DR 상태 사이에서 주기적으로 전송율이 변화하며 안정적이지 않기 때문에 P와 Q는 1보다는 커야 한다.

5. 시뮬레이션 및 결과 고찰

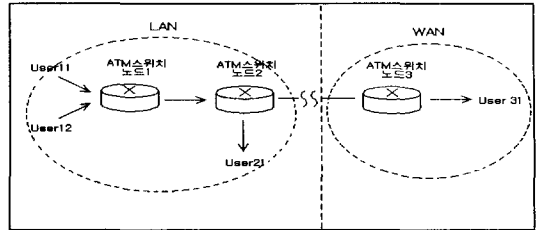
5.1 시뮬레이션 모델링

ABR 지연 방식과 ABR RRM 방식 사이에서 각각의 TCP 접속의 공정성을 비교하는 시뮬레이션을 수행하기 위하여 다음과 같이 가정한다.

첫째, TCP 프로토콜은 데이터 단위의 흐름을 규제하는 윈도우 방식에 기초를 두고 있다. TCP 프로토콜을 사용하여 전송된 데이터는 세그먼트라고 불리는 중간 크기의 단위로 나누어지며 AAL5에서 가정한 셀을 사용한다.

두번째는 효율적으로 설계되고 빠른 회복 방식에 사용하는 TCP Reno 프로토콜을 선택하였다. round-trip time granularity는 재전송 타임아웃으로 가정할

수 있는 최소값이다. 현재 TCP 발표에서는 500ms으로 설정되어 있다.



[그림 5] 시뮬레이션 모델
[Fig. 5] Simulation Model

세 번째는 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 형태는 하나의 혼잡 스위치와 FIFO 큐잉 그리고 오직 단방향 트래픽 만을 고려하였다. 모든 링크 대역폭은 150Mbps이고, 단방향성 TCP 접속으로 한다. 그리고 user11→user21은 10km이내의 LAN으로 접속하는 네트워크이고 이를 userLan 이라 하고, user12 → user31은 1000km이내의 WAN으로 접속하는 네트워크이고 userWan이라한다.

TCP 접속을 위한 소스 트래픽은 벌크 데이터 트래픽을 모형으로 삼았다: 각각의 소스는 계속적인 데이터 스트림을 가지며 윈도우 방식에 의해 허용된 것과 같이 최대한 빠르게 최대 크기의 세그먼트를 송신한다. 데이터는 시뮬레이션에서 ATM 네트워크의 IP 패킷의 크기로 제안된 9180바이트의 최대 크기 세그먼트로 전송된다. 벌크 데이터 트래픽을 갖는 총 데이터 전송은 크며 처리량은 네트워크 대역폭에 의해 제한된다. 또한 모든 TCP 소스가 갖는 최대 윈도우 크기와 8개의 세그먼트의 크기가 같다고 가정한다.

백그라운드 트래픽 메시지는 평균 20개의 셀과 최대 200 셀의 길이를 갖는 잘려진 기하학적인 메시지 길이 분배를 갖는 Poisson 도착에 따라 생성된다. 모든 시뮬레이션은 0.01에서 부터 12.5, 25, 37.5, 50, 75 그리고 100Mbps까지 범위의 백그라운드 트래픽 레벨에서 동작하도록 설계되었다. 스위치 버퍼는 2 종류의 우선 순위에 따라 관리된다: 백그라운드 트래픽의 타입은 높은 우선 순위를 갖는 VBR이며 TCP 접속의 타입은 낮은 우선 순위를 갖는 ABR이다.

ABR RRM 방식과 ABR 지연 방식을 위해 아래의 조건을 적용하였다. 각각의 소스는 매 31개의 데이터 셀마다 하나의 RM 셀을 삽입한다. BRM 셀에 있는 IR 메시지를 위하여 소스는 PCR의 1/32 만큼씩 증가한다. DR이나 DDR 메시지는 각각 현재 전송율의 1/32 또는 1/16 만큼씩 감소한다. KR 메시지의 경우 현재 전송율이 유지된다. ABR 지연 방식에서 <표 1>에 있는 상수 P와 Q는 1.4로 설정된다.

5.2 결과 및 고찰

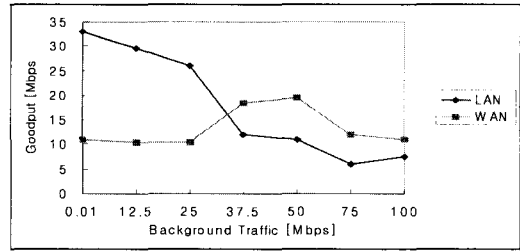
TCP 전송 처리량은 모든 결점과 재전송 세그먼트를 제거하여 TCP 수신기에 의해 획득한 유용한 처리량이고, TCP 접속의 효율은 총 TCP 접속 적재 전송 처리량 비율이다.

백그라운드 트래픽 레벨과 TCP 전송 처리량 둘다 Mbps 단위로 한다. 백그라운드 트래픽이 요구하지 않더라도 링크 이용을 얻기 위해 TCP 전송 처리량은 효율로 나눠야 하며 인수 53/48(AAL5에서 가정함)로 곱해야 한다. 더 큰 크기의 버퍼가 효율을 개선할 수 있다는 것을 보이기 위해 스위치 버퍼 크기에 대한 2개로 (7000,14000)로하여 시뮬레이션을 하였다. 버퍼의 LT를 버퍼 크기의 3%로 고정하며 HT는 90%로 고정한다. 모든 시뮬레이션은 수신기 처리량이 90% 신뢰도를 가지고 10% 정확도가 되도록 수행되었다.

노드1의 버퍼 크기는 [50,7000]이다. 이때 50은 오직 백그라운드 트래픽에 의해서만 사용된 버퍼의 크기이며 7000은 TCP 접속에 사용된 버퍼 크기이다. 노드2에서 버퍼의 크기는 [50,3000]이다. 각각의 소스가 접속된 각 스위치의 버퍼 크기는 [50,1000]이다. 모든 버퍼 크기의 단위와 threshold는 셀이다.

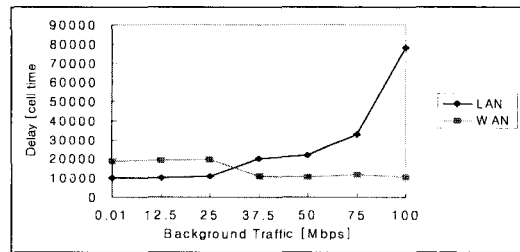
버퍼크기가 7000일때 ABR RRM 방식을 시뮬레이션하였다. [그림 6]과 [그림 7]는 각각의 VC의 TCP 전송 처리량과 평균 셀 지연을 각각 보여준다. 평균 셀 지연은 VC를 통과하는 노드1의 BRM 셀에서 발생한 셀 지연의 합을 VC의 BRM 셀의 개수로 나눈 것이라고 정의된다.

[그림 6]으로부터 ABR RRM 방식에서 불공정한 특성을 발견할 수 있다. 백그라운드 트래픽 레벨이 25Mbps보다 작거나 같으면 길이가 10Km인 TCP 사용자들의 트래픽은 1000Km의 것보다 2.5에서 3배 더 크다.



[그림 6] RRM 방식에 의한 TCP 전송 처리량

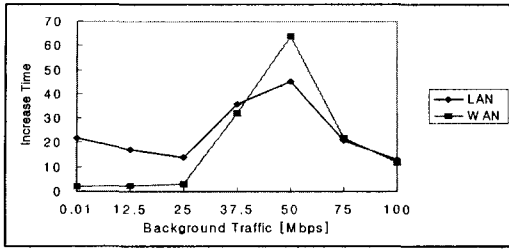
[Fig. 6] TCP Goodput by RRM Mechanism



[그림 7] RRM 방식의 지연

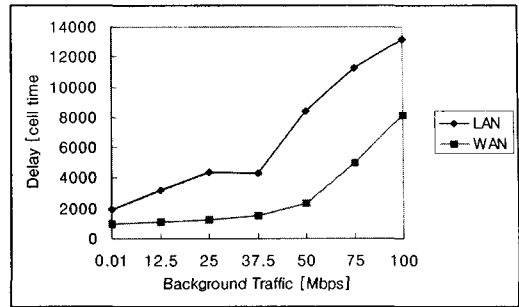
[Fig. 7] Delay of RRM Mechanism

백그라운드 트래픽 레벨이 37.5Mbps를 넘으면 1000Km의 트래픽이 10Km의 것보다 2배 커진다. 이 현상은 RM 셀에 있는 IR과 DR 메시지의 합으로부터 각각의 소스가 수락되었음을 설명할 수 있다. [그림 8]와 [그림 9]는 시뮬레이션 완료료를 통해 백그라운드 트래픽의 함수로서 각 VC 전송율의 증가 시간(IR 상태)과 감소 시간(DR 상태)을 묘사하고 있다. 백그라운드 트래픽 레벨이 37.5Mbps보다 작아지면 IR 상태는 10Km 길이인 트래픽에서의 DR 상태보다 자주 나타나지만 1000Km 길이의 트래픽에서는 대부분 같다. 이와는 달리, DR 상태는 어떠한 백그라운드 트래픽 레벨에서도 IR 상태보다 꽤 자주 나타난다. 이러한 경우에 LAN에서 트래픽의 DR 상태는 WAN보다 대략 10배 정도 크다. 여기서 LAN의 트래픽은 가벼운 적재에서 전송율이 증가하는 경향이 있으나 WAN보다 무거운 적재에서는 제한되므로 전송율을 네트워크 적재에 보다 빨리 맞추도록 조절할 수 있으며 이것은 ATM ABR 서비스에서 접속들 사이의 공정성을 파괴한다.



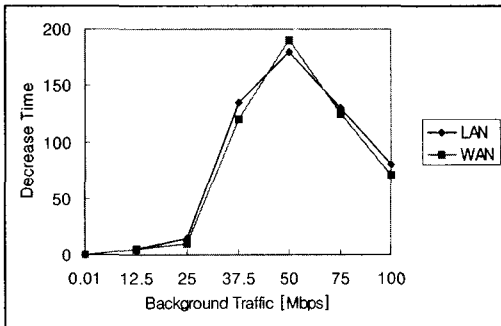
[그림 8] RRM 방식의 증가 시간

[Fig. 8] Increase Times of RRM Mechanism



[그림 11] ABR 지연 방식에 의한 지연

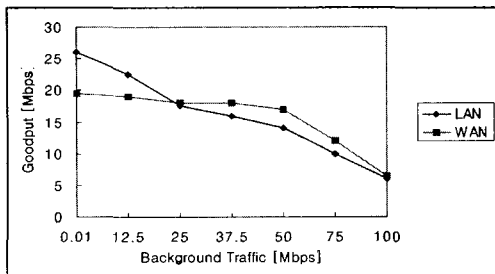
[Fig. 11] The Delay by ABR DELAY



[그림 9] RRM 방식의 감소 시간

[Fig. 9] Decrease Times of RRM Mechanism

[그림 7]에서 백그라운드 트래픽 레벨이 37.5Mbps보다 작아지면 WAN의 지연이 LAN보다 대략 10000 셀 배만큼 길어진다는 것을 관찰할 수 있다. 반면에 후자의 지연은 전자보다 대략 10000에서 20000 셀 배 정도 길어진다. 이러한 지연 관계는 [그림 6]의 TCP 전송 처리량의 관계와는 정반대인 것이 흥미롭다. 이것은 작은 셀 지연이 각 접속의 전송율을 빠르게 만들기 때문이다.



[그림 10] ABR 지연 방식에 의한 TCP 전송 처리량

[Fig. 10] TCP Goodput by ABR DELAY

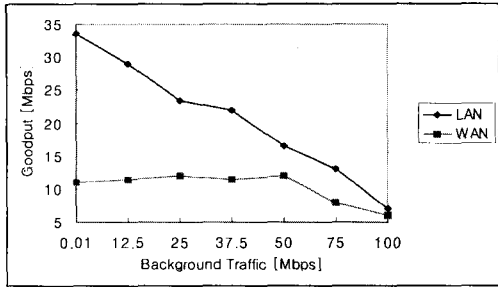
그리고, 버퍼크기가 7000일 때 ABR 셀 지연 방식을 시뮬레이션 하였다. [그림 10]과 [그림 11]은 각각 ABR 지연을 위한 각각의 VC의 TCP 전송 처리량과 평균 셀 지연을 나타낸다.

[그림 10]에서 모든 트래픽은 동등한 비율을 갖으며 각각의 TCP 전송 처리량의 최대 차이는 오직 6Mbps보다 작다. 접속들 사이에서의 공정성에 관한 결과는 ABR 지연 방식에 의해 만족된다. [그림 11]에서 LAN 사용자들의 셀 지연이 WAN 사용자들의 것보다 3000에서 5000 셀 배만큼 크다는 것을 알 수 있다. P와 Q가 크면 LAN에서는 각각의 스위치는 BRM 셀에 있는 메시지를 DR이나 DDR로 갱신하는 경향이 있으나 WAN에서는 변화가 없다.

ABR RRM 방식과 ABR 지연 방식에서 TCP 전송 처리량과 효율을 위하여 더 큰 버퍼 크기의 효과를 보이기 위해 고려되었다. TCP 접속을 위한 각 노드의 버퍼 크기는 시나리오1의 2배이나 백그라운드 트래픽을 위한 접속에서는 같다. 즉, 노드1의 버퍼 크기는 [50,14000]이며 노드2와 노드3의 버퍼 크기는 [50, 6000]이다. 각각의 소스와 접속하는 각 스위치의 버퍼 크기는 [50,2000]이다.

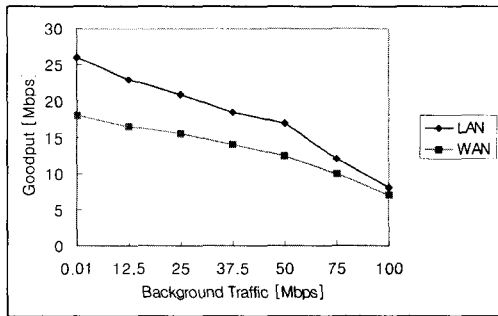
[그림 12]와 [그림 13]은 각각 ABR RRM 방식과 ABR 지연 방식에서 TCP 전송 처리량의 시뮬레이션 결과이다. 이들 그림에서 백그라운드 트래픽 레벨과 상관없이 LAN의 TCP 사용자들의 트래픽은 WAN의 것보다 더 크다. ABR RRM 방식에서 백그라운드 트래픽 레벨이 37.5Mbps보다 작으면 LAN 트래픽은 WAN보다 2 ~ 3배 크지만 ABR 지연 방식에서는 1.3 ~ 1.5배의 차이가 난다.

ABR 지연 방식에서 각 TCP 전송 처리량의 최대 차이는 6Mbps보다 작다. 따라서 시뮬레이션 결과로 ABR 셀 지연 방식에 의해 공정성이 개선된다고 할 수 있다.



[그림 12] RRM에 의한 TCP 전송 처리량 (버퍼 크기=14000)

[Fig. 12] TCP Goodput by RRM (Buffer Size = 14000)



[그림 13] ABR 지연 방식에 의한 TCP 전송 처리량 (버퍼 크기=14000)

[Fig. 13] TCP Goodput by ABR DELAY (Buffer Size = 14000)

7. 결론

단순한 ATM ABR 네트워크에서 작동하는 TCP 프로토콜의 공정성은 가변적인 백그라운드 트래픽 레벨을 고려한 ABR RRM 방식과 ABR 셀 지연 방식에서 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 그 결과 ABR 지연 방식이 TCP 접속들 사이에서 공정성을

개선한다는 것을 보였다. 제안된 방식에서 처리량과 효율 성능 레벨은 줄어들었으며 특히 백그라운드 트래픽 레벨이 높으면 충분한 버퍼의 크기가 이러한 오버헤드 문제를 해결한다는 것을 보였다.

본 논문에서는 ABR 지연 방식에 관한 간단한 네트워크에서의 성능을 분석하였다. 향후 과제로는 복잡한 네트워크에서의 성능을 분석하기 위한 보다 자세한 연구가 필요하다. 예를 들어 ABR 지연 방식에서 정의된 파라미터들(P, Q)의 효과라든지 ABR 파라미터들의 영향과 TCP 윈도우 방식등에 관한 연구가 필요하다고 사료된다.

※ 참고문헌

- [1] Gary C. Kessler, "ISDN Concepts, Facilities, and Services", McGraw-Hill, 1996.
- [2] The ATM Forum Technical Commitee, "Traffic Management Specification Version 4.0", ATM Forum Contribution 96-0013RI, 1996.
- [3] ATM Forum, "Traffic Management Specification Version 4.1", 1999
- [4] Andrea Bianco, "Performance of the TCP Protocol over ATM Networks", ICCCN'94, 1994
- [5] Macor A. Marsan, Andrea Bianco, Renato L. Cigno and Maurizio Munafo, "TCP over ABR: Some Preliminary Simulation Results", 1st IFIP Workshop on ATM Traffic Management, 1995
- [6] Katsumi Yamato and Hiroshi Esaki, "Congestion control for ABR Service Based on Dynamic UPC/NPC", IEICE TRANS, COMMU. Vol. E79-B, No 2, Feb, 1996
- [7] Shirish S. Sathaye, "Draft Version 3.0 of ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0", ATM Forum 95-0013R2, April, 1995.
- [8] 조유제, "ABR 서비스를 위한 폭주제어 기술 동향", 텔레콤 제11권 제1호, June, 1995.

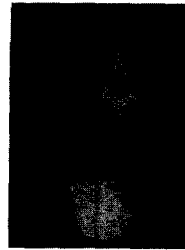
- [9] Flavio Bonomi and Kerry W. Fendick, "The Rate-Based Flow Control for the Available Bit Rate ATM Service", IEEE Networks, Vol.9, No.2, pp.25-39, 1995
- [10] Ryoichi Kawahara, Hiroshi Saito and Masatoshi Kawarasaki, "Characteristics of ABR Explicit Rate Control Suitable for Public Networks", International Journal of Communication Systems, pp.189-209, 1998
- [11] Van Jacobson, Bob Braden and Dave Borman, "TCP Extensions for High Performances", RFC1323, 1992
- [12] Van Jacobson, "Berkeley TCP evolution from 4.3-tahoe to 4.3-reno", Eighteenth Internet Engineering Task Force, 1990
- [13] CSLET, "ATM simulation with CLASS", Performance Evaluation 24, pp.137-159, 1995

이 상 훈



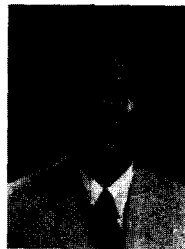
1983년 2월 광운대학교
응용전자과 졸업(공학사)
1987년 8월 광운대학교 대학원
전자과 졸업(공학석사)
1992년 2월 광운대학교 대학원
전자과 졸업(공학박사)
1991년~현재 광운대학교
전자공학부 교수

조 미 령



1997년 2월 방송통신대(독학사)
전자계산학 학위 취득
1997년 8월~1999년 8월
광운대 일반대학원 전자공학
(석사) 졸업
2000년 3월 광운대 일반대학원
전자공학(박사) 재학

김 봉 수



1986. 3.~1991. 2.
공군기술고등학교 교관
1992. 3.~1993. 4.
서울특별시 지하철공사 근무
1993. 4. ~ 현재
염광역자정보교육고등학교
교사
1993년 인덕대학 전자과 졸업
1999년 대진대학교
컴퓨터공학과 공학사
2001년 광운대학교 대학원
전자공학과 재학중