

ATM망에서 ABR 서비스를 위한 ER 스위치 폭주 제어 알고리즘의 성능 개선

正會員 김 운 하*, 박 성 곤**, 조 용 환***

Performance Improvement of ER Switch Congestion Control Algorithm for ABR Service in ATM Network

Woon Ha Kim*, Sung Kon Park**, Yong Hwan Cho*** *Regular Members*

요 약

본 연구에서는 ATM 망의 ABR 서비스 트래픽 제어를 위해 새로운 ER 피드백 제어 알고리즘인 EMRCA(Explicit Max_min Rate Control Algorithm)을 제안한다. 이 방식은 과도상태와 평형상태에서의 ACR 변화를 해석하였고, 스위치 노드에서의 폭주를 찾아내기 위하여 큐에 있는 두 개의 임계치 TH_{high} 와 TH_{low} 를 사용하였고, 연결들 간의 최소 전송률과 최대 전송률의 차이를 줄여 링크 대역 이용률을 높이고자한다. 이 제안 방식은 폭주가 발생한 연결을 선택하기 위하여 활성화된 모든 연결에 대하여 최소 전송률과 최대 전송률을 사용하여 선택된 연결들의 전송률을 조정함으로써 잠재적인 폭주발생을 예방시켜 주는 폭주탐지 메커니즘을 사용한다. EMRCA 방식은 EPRCA 방식보다 ACR 변화가 더욱 안정됨을 보여주었고, 또한 스위치의 큐 길이를 감소시켰고, 높은 링크 이용률을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

A new ER feedback switch control algorithm, called EMRCA(Explicit Max_min Rate Control Algorithm), to control the ABR services traffic in the ATM networks, is proposed in this thesis. This scheme was interpreted the ACR variation residing on between a transient state and a stable state using the two thresholds that is the TH_{high} and TH_{low} in the queue to detect switch nodes congestion, and decreased the difference of minimum and maximum ACR all active connection to enhance the link bandwidth utilization. The proposed scheme uses a minimum and maximum rate of all active connections to select the connection whose the congestion are invoked, and uses a con-

* 한국통신 연구개발본부 책임연구원(광선로연구실장)

** 원주전문대학 전산정보처리과

*** 충북대학교 컴퓨터공학과

論文番號: 97230-0708

接受日字: 1997年 7月 8日

gestion detection mechanism to prevent some potential congestion by regulating selected connections.

The EMRCA scheme showed ACR variation more stable than the EPRCA scheme, also reduced buffer sizes of the switch, and achieved higher link utilization than the EPRCA scheme.

I. 서 론

현재 ATM Forum에서 정의된 ABR 서비스는 CBR이나 VBR 서비스와 같이 연결 설정시에 요구한 대역 할당을 보장받는 것이 아니라, CBR이나 VBR의 서비스가 사용하고 남은 가용 링크 대역폭을 최대한 활용하거나, 트래픽 전송을 위해 대기하는 CBR, VBR의 트래픽이 없는 시간을 이용하여 트래픽을 전송하는 방식이다. 즉, ABR 서비스는 망으로부터 피드백 정보를 사용하여 ABR 연결에 대하여 최소 셀률에 대한 보장을 받고, 망의 폭주상태에 따라 최대 셀률까지 동적으로 가용 링크 대역폭을 활용하여 트래픽을 전송하는 방식이다[1][2][6].

기존의 ER 피드백 스위치 알고리즘은 ATM 망의 상태를 판단하기 위하여 스위치의 버퍼 수위와 임계치(TH_{high} , TH_{low})를 비교하여 망의 트래픽 폭주상태를 판단하지만 아래와 같은 결점이 있다[9][15][20].

첫째, 버퍼의 평균 수위가 임계치(TH_{high})보다 크지만 버퍼의 수위가 감소하고 있는 상황에서도 송신원에서는 전송률을 감소시킨다.

둘째, 버퍼의 평균 수위가 임계치(TH_{low})보다 작지만 버퍼의 수위가 증가하고 있는 상황에서 송신원에서는 전송률을 증가시킨다.

이와같이 망의 트래픽 폭주 여부를 판단하기 때문에 전송률의 최대값과 최소값의 차이가 커지게 되므로 가용 링크 대역폭의 사용 효율성이 감소하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 제안하는 EMRCA 방식은 스위치 노드에서의 폭주를 찾아내기 위하여 셀 버퍼 안에 있는 큐에 두 개의 임계치 QT와 DQT를 사용하여 과도상태와 평형상태에서의 ACR의 변화를 해석하고, 이를 이용한 연결들 간에 최대전송률과 최소전송률을 설정하고, 두 전송률 간의 차이를 줄여 링크 대역폭의 활용을 증가시키고자 한다. 또한 선택된 연결들의 전송률을 조정함으로써 잠재적으로 폭주 발생을 예방시켜주는 폭주 탐지 메커니즘을 사용한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 ATM 계층의 서비스 분류를 제시하였고, III장에서는 ABR 트래픽 제어 방

식에 대하여 설명하였으며, IV장에서는 EMRCA 메커니즘을 제안하고, 제안된 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 ACR의 변화와 스위치의 큐 길이에 대한 수학적 해석을 하였다. V장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존의 EPRCA 스위치 방식과 제안한 EMRCA 스위치 방식의 성능을 분석 비교하였고, 끝으로 VI장에서는 결론과 향후 연구과제를 제시한다.

II. ATM 계층의 서비스 분류

2.1 ATM Forum의 ATM 계층 서비스 분류

ATM Forum TM 4.0에서는 ATM 계층 서비스를 CBR, VBR, ABR, UBR로 분류하였다[5][13]. ATM 계층 서비스 분류에 따라 사용자 서비스들을 대응시켜 보면 그림 2.1과 같이 분류할 수 있다.

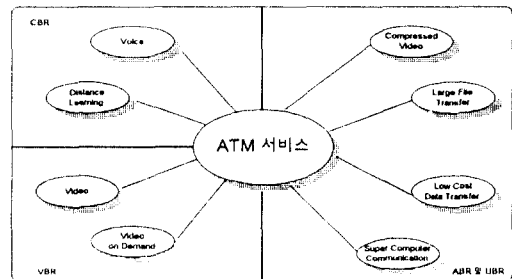


그림 2.1 ATM 계층의 서비스 분류

CBR 서비스를 위해서는 항상 고정된 전송 대역폭이 제공되므로 셀 전달지연과 셀 지연변이에 대한 서비스 품질이 보장되고, 셀 손실률에 대한 서비스 품질이 보장된다. 따라서 CBR 서비스는 실시간 영상이나 음성 트래픽과 같이 고정된 전송 대역폭을 필요로 하는 서비스 분야에 응용된다.

VBR 서비스는 응용 서비스가 셀 지연변이에 어느 정도 민감한가에 따라 RT-VBR과 NRT-VBR로 나누어진다. RT-VBR 서비스는 셀 전달지연 및 셀 지연변이에 대한 엄격한 제한이 요구되는 음성이나 영상 등

의 실시간 서비스에 주로 응용되며, 전송률이 시간에 따라 가변적으로 변화하는 특징을 가지고 있다. NRT-VBR 서비스는 셀은 트래픽 협약을 준수하며 전송된 셀에 대해서는 낮은 셀 손실률이 보장되나 최대 셀 지연 시간에 대한 보장은 없다. 그리고 NRT-VBR 서비스는 각각의 연결들에 통계적 다중화가 가능하다.

ABR 서비스는 트래픽 관리 기법을 사용하기 때문에, 망의 폭주상태를 측정하고 셀 손실을 방지한다. ABR 서비스는 버스트 데이터 응용에 대해 신뢰성있는 전송을 제공하는 ATM 서비스 클래스이다. ABR 서비스는 유휴 대역폭에 액세스(Access)하게 함으로써 거래처리 응용 등 지연을 억제하는 트래픽을 전송하게 한다.

UBR 서비스는 데이터가 목적지에 언제 그리고 정확히 도달할 수 있는가에 대한 확실한 보장없이 데이터를 전송하는 방식으로, CBR, VBR 및 ABR 서비스 트래픽이 사용하고 남아 있는 대역폭을 활용하여 데이터를 전송한다. UBR 서비스의 대표적인 응용에는 셀 지연이나 셀 지연 변이에 대한 엄격한 요구가 없는 전자 우편이나 파일전송 서비스 등이 있다.

2.2 ATM 계층의 ABR 서비스의 특징

ABR 서비스는 트래픽의 버스트가 크고 가변적이므로 입력 트래픽을 예측하기 어렵고 전송 지연에는 민감하지 않으나, 셀 손실에는 매우 민감한 특징을 갖고 있어 LAN 간의 고속 접속, 고속 파일 전송등에 응용된다. 그림 2.2에서 나타난 바와 같이 CBR이나

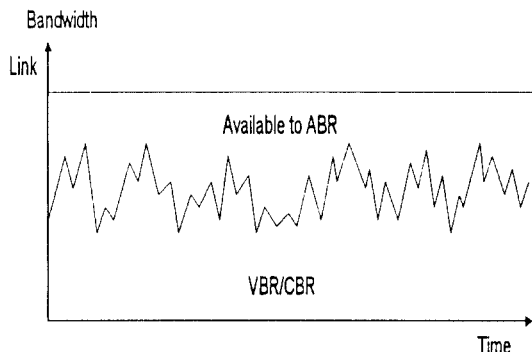


그림 2.2 ABR 서비스 트래픽의 대역폭

VBR 서비스와 같이 연결설정시에 할당된 대역을 고정적으로 사용하지 않고 ATM 망의 상황에 따라 흐름제어를 수행하여 소스 트래픽의 링크 대역이 동적으로 변화하므로 전송 속도가 증가되거나 감소되는 특징이 있다[5].

ATM 망에서 ABR 서비스를 수용하면 우선 순위가 높은 CBR이나 VBR 서비스의 QoS에 영향을 주지 않고 CBR이나 VBR 서비스가 사용하고 남은 대역을 사용하여 링크 이용률을 높일 수 있다. 이를 위해 망은 ABR 서비스를 위한 대역은 최소 셀률을 보장하고 망의 폭주상태에 따라 단말의 전송속도를 최소 전송속도인 MCR에서 최대 전송속도인 PCR 사이에서 제어할 수 있다. 망은 MCR을 이용하여 연결설정이 가능한지를 판단한다. 연결설정이 허용된 ABR 서비스의 전송속도는 망의 피드백 제어정보에 의해 MCR과 PCR 사이에서 가변적으로 전송속도를 변환시킨다.

III. ABR 트래픽 폭주제어

3.1 ABR 트래픽 폭주제어 방식

ABR 트래픽 폭주제어 방식은 크레딧 기반 폭주제어 방식과 전송률 기반 폭주제어 방식으로 구분할 수 있다. 크레딧 기반 폭주제어 방식은 전송되는 트래픽을 링크 단위로 제어하는 방식으로 대역폭과 전파지연이 큰 고속 통신망의 환경에서 사용하기에는 부적합하다. 그러나 전송률 기반 폭주제어 방식은 송신원에서 전송되는 데이터의 속도를 중간단에서 직접 제어할 수 있기 때문에 고속 통신망에 환경에 적합한 흐름제어 방식으로 평가되고 있다. ATM Forum에서도 셀 손실률의 보장을 요구하는 ABR 트래픽을 제어하기 위한 방식으로 크레딧 기반 폭주제어 방식과 전송률 기반 폭주제어 방식 사이에 많은 논란을 거듭한 끝에 '94년 9월에 EPRCA 메카니즘을 전송률 기반 폭주제어 방식을 채택하였다[9][10][13][21].

3.2 크레딧 기반과 전송률 기반 방식의 비교

1) VC 단위 큐잉

크레딧 기반 방식은 각 VC마다 분리된 큐를 가져야 한다. VC단위의 큐잉은 VC 수에 비례하여 스위치가 복잡해지므로, WAN 환경에서와 같이 매우 많은 수의 VC를 지원할 대규모 스위치를 구현하는데 상당

한 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 이용하는 데 걸리는 시간이 매우 짧아 링크에 새로운 가용 대역폭이 생기면 즉시 사용이 가능하다. 그러나, 적응 크레딧 방식이나 전송률 기반 방식들은 몇 번의 퍼드백 제어를 거쳐야 링크의 가용 대역폭을 완전히 이용할 수 있기 때문에 몇 배의 왕복 전파 지연 시간이 걸리게 된다.

4) 위반 사용자의 영향

VC 단위 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 ER을 사용하는 전송률 기반 방식에 비해서는 버퍼량이 많다. 크레딧 기반 방식은 필요한 버퍼 크기가 VC의 수 뿐만 아니라 전송 링크의 전파 지연에 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, 스위치간에 서로 다른 큐잉 방식이나 ER 계산 알고리즘을 사용하더라도 동일한 망 안에서 상호 운용이 가능하다. 반면에 크레딧 기반 방식은 각 스위치마다 반드시 VC 단위의 큐잉을 사용하여야 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) 공평성

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 공평성에 큰 문제가 있었으나, EPRCA에서는 fair share에 의한 지능형 마킹을 도입함으로써 공평성이 크게 개선되었다.

3.3 ABR 서비스를 위한 스위치 알고리즘

ATM Forum에서는 스위치의 동작 방식 따라 이진 퍼드백 스위치 방식과 ER 퍼드백 스위치 방식으로 구분하고 있다. 또한 ER 퍼드백 방식은 스위치에서 폭주 발생을 감시하는 방법에 따라서 스위치 출력 큐 크기의 임계치(threshold)로 판단하는 비폭주회피 방식과 스위치의 셀 입력률을 주기적으로 측정하여 폭주를 예상하는 폭주회피 방식으로 구분된다.

이진 퍼드백 스위치는 데이터 셀의 헤더에 있는 EFCI 비트를 이용하여 망의 폭주여부를 구분하는 두 가지 상태만을 수신원에 알리게 된다[15]. 스위치는 모든 가상연결들에 대해 공통의 출력 큐를 두고 큐의 크기를 감시하며 큐의 크기가 임계치(threshold)를 넘으면 폭주발생으로 인식하여 전송되는 데이터 셀의 EFCI 비트를 마킹하여 폭주가 발생하였음을 수신원에 알린다. 수신원은 EFCI 비트가 설정된 데이터 셀

을 받게 되면 전송할 역방향 RM 셀의 CI 비트를 1로 설정함으로써 망에 폭주가 발생하였음을 송신원에 알리어 전송률을 감소하도록 한다[1][23]. 대부분의 이진 피드백 스위치는 하나의 임계치를 사용할 때 발생할 수 있는 잦은 폭주 통지와 해제를 방지하기 위해 두 개의 임계치를 도입하고 있다. 즉 폭주발생을 선언하는 임계치 T_{high} 와 폭주해제를 결정하는 T_{low} 를 사용하여 버퍼의 수위가 T_{low} 를 지나 T_{high} 를 넘으면 폭주를 선언하고 버퍼가 줄기 시작해도 T_{low} 보다 낮지 않으면 폭주상태를 해제하지 않는다. 이 방식은 모든 VC가 공통의 버퍼를 공유하기 때문에 VC 간의 불공평성이 발생할 수 있다. 불공평성 문제의 개선책으로는 각 VC에 분리된 버퍼를 제공하는 방법과 선별적인 피드백을 통한 능동적인 폭주제어 방법이 있다.

ER 피드백 스위치는 VC간의 공평한 분인 fair share와 입력 부하의 정도에 따라 망에서 허용할 수 있는 전송률인 ER 값을 계산하여 역방향 RM 셀의 ER 필드에 실어 송신원에게 알리게 된다. 비폭주회피 방식은 망에서의 트래픽 폭주상태를 판단하는 방법이 단순히 스위치 버퍼의 수위와 임계치 초과 여부를만 사용하는 것이다. 따라서 늦게 전송을 시작한 송신원이 일찍 전송을 개시한 송신원 보다 낮은 처리율(throughput)을 가지는 불공평성을 유발한다고 평가되고 있다. 폭주회피 방식은 비폭주회피 방식에 스위치로 들어오는 셀 입력률을 측정하는 기능을 추가하여 보다 정확한 망의 정보를 얻고, 망에서의 폭주 발생을 보다 정확하고 빠르게 예측함으로써 요구되는 버퍼의 크기를 줄일 수 있다. 그러나, 폭주회피 방식은 셀 입력률 측정으로 인해 스위치의 복잡성이 가중되어 실제 구현이 어려우며 망이 평형상태에 있을 때도 링크의 대역폭을 100% 활용할 수 없게 되는 단점이 있다.

3.4 EPRCA 스위치 알고리즘

EPRCA 스위치 알고리즘은 SES(Source End System)과 DES(Destination End System)으로 나누어 설명할 수 있다. 송신원(SES)에서 전송한 RM 셀이 수신원(DES)을 경유하여 수신되면 RM 셀 필드에 있는 CI 비트를 검사하여 0이면 지금까지 감소되었던 전송속도를 보상하기 위하여 ACR을 증가시키고, CI 비트가 1이면 ACR을 감소시키는 방법으로 폭주를 제어한다. ACR은 AIR 만큼씩 빠르게 증가되는 반면, ACR

의 감소는 RDF에 의해 서서히 이루어진다. 연결설정시 초기 셀 전송률인 ICR로 전송이 시작되며, 후에 연결이 휴지상태(idle state)로 되면 ACR은 ICR로 감소된다. 이는 망이 폭주상태일때 망으로의 입력 트래픽을 줄임으로써 폭주상태를 회복 시키기 위한 방법이다. RM 셀은 망에서 허용할 수 있는 전송률을 송신원에게 알리기 위해 ER 필드, 해당 VC의 현재의 전송률을 나타내는 CCR 필드, 송신원에 보장되는 최소 전송률인 MCR 필드, 폭주 발생 여부를 나타내는 CI 비트를 가진다. 송신원은 순방향 RM 셀의 ER 필드를 자신이 원하는 최대 전송률인 PCR로 초기화하고 CI 비트를 0으로 설정하여 전송한다. 각 스위치는 지수 기중 평균치를 이용하여 fair share를 계산하고 필요하다면 되돌아오는 역방향 RM 셀의 ER 필드를 fair share를 사용하여 줄인다. 스위치는 ER를 설정하는 것 외에 큐 길이가 임계치보다 커지면 역방향 RM 셀의 CI 비트를 설정한다.

수신원은 RM 셀을 받으면 받은 RM 셀을 되돌려 보내고 데이터 셀의 EFCI 비트를 감시하다가 가장 최근 데이터 셀의 EFCI 비트가 설정되어 있었으면 RM 셀의 CI 비트를 설정하여 송신원으로 돌려보낸다. 송신원에서 전송한 RM 셀이 수신원을 경유하여 CI 비트가 0인 상태로 수신되었을 경우에는 연결설정시에 결정된 AIR만큼 증가시켜 지금까지 감소된 전송속도를 보충한다. 이 때, ACR은 고정된 크기의 PCR×RIF만큼씩 증가되지만 PCR 값을 초과할 수 없다. 송신원은 역방향 RM 셀을 수신하면 ACR이 MCR과 PCR사이에서 계산되는 과정은 아래와 같다[18].

$$\text{IF CI}=0 \text{ (정상상태)}$$

$$\text{ACR} = \text{Max}(\text{PCR} \times \text{RIF}, \text{MCR})$$

$$\text{IF CI}=1 \text{ (폭주상태)}$$

$$\text{ACR} = \text{Max}(\text{ACR} \times \text{RDF}, \text{MCR})$$

$$\text{ACR} = \text{Min}(\text{ACR}, \text{ER}, \text{MAX})$$

여기에서 ACR은 망이 허용하는 단말 전송속도의 상한 값이고, RIF는 ACR의 증가 계수, RDF는 ACR의 감소 계수이다.

한편, 수신된 RM 셀이 CI 비트가 1로 설정된 상태로 수신되었을 경우에는 ACR은 연결설정시에 결정된 RDF과 현재의 ACR을 곱하여 ACR을 감소시키는 데 MCR 이하로 감소시킬 수 없다. 이는 망이 폭주상태일 때 망으로의 입력 트래픽을 줄임으로써 폭

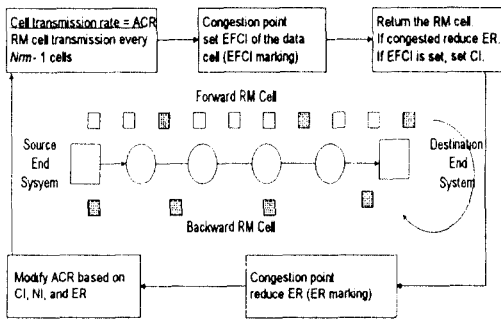


그림 3.1 순방향 RM 셀과 역방향 RM 셀

주상태를 해제시키기 위한 방법이다.

스위치 노드에서 EPRCA 메카니즘을 구현하는 방식에는 EFCI Bit Setting 방식, Binary Enhanced Switch 방식 및 Explicit Down Switch 방식이 제안되고 있다 [13][19][21].

첫 번째 방식인 EFCI Bit Setting 방식은 송신원에서 RM 셀을 보낼 필요가 없으며 데이터 셀 헤더의 CI 비트를 이용하여 각 스위치 노드에서 폭주상태가 되면 CI 비트를 1로 바꾸는 방법이다. 그러나 이 방식은 여러 스위치 노드를 거치는 연결이 보다 적은 수

의 스위치 노드를 거치는 연결에 비해 긴 경로의 ABR 서비스 연결이 짧은 경로의 연결보다 CI 비트가 바뀔 확률이 높아 전송속도를 증가시킬 수 있는 확률이 작아지는 문제로 인하여 ABR 서비스 연결들 간에 공정한 대역 할당이 이루어지지 않는다고 알려져 있다[23].

두 번째 방식인 Binary Enhanced Switch 방식은 모든 ABR 서비스 연결들의 평균 전송속도를 나타내는 MACR 파라미터를 도입하여 MACR보다 높은 ACR로 전송되고 있는 ABR 서비스 연결에 대해서만 전송속도를 감소시키는 선택적 피드백 방식에 의해 ABR 서비스 연결들간의 공평성을 유지시킬 수 있다. 이 MACR은 스위치 노드가 순방향RM 셀을 받으면 RM 셀의 파라미터인 ACR에 의해 계산된다.

세 번째 방식인 Explicit Down Switch 방식은 각 스위치 노드에서 폭주상태가 되면 MACR을 이용하여 계산된 ER을 RM 셀을 이용하여 직접 송신원으로 전송하며 송신원에서는 ER로 다음 데이터 셀을 전송함으로써 전송속도를 급격히 감소시켜 망이 폭주상태에서 빠르게 복구될 수 있도록 하는 방식이다.

1) 송신원 노드에서의 제어 (그림 3.2 참조)

① 송신원은 데이터 셀이 N_{rm} 개씩 전송될 때마다 RM

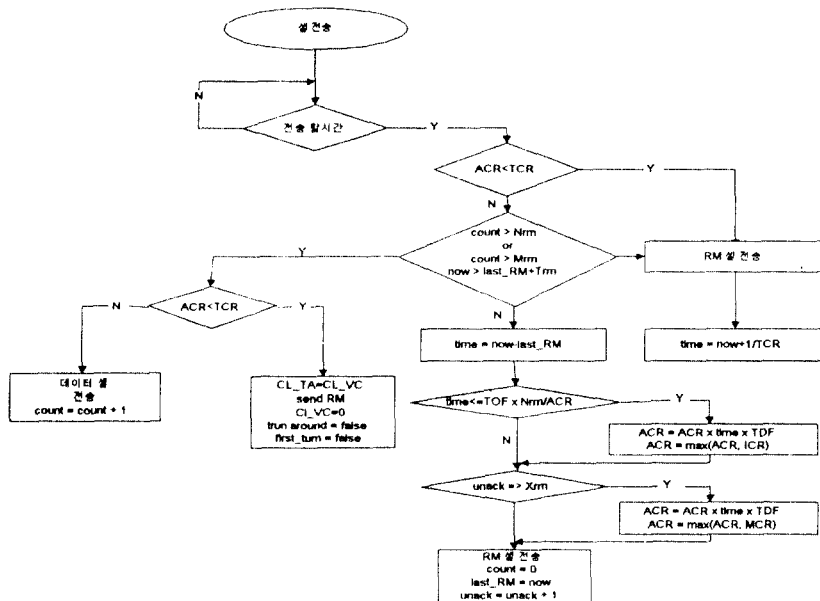


그림 3.2 송신원 노드에서의 제어 흐름도

- 셀을 보내고 낮은 전송속도의 데이터 셀 전송 중에는 적어도 100ms에 한 번씩 RM셀을 보낸다.
- ② RM 셀을 보낸 후 100ms 이상 데이터 셀을 보내지 않았으면 데이터 셀보다 RM 셀을 먼저 보내고 ACR은 ICR과 ACR 중에서 작은 값으로 바뀐다.
- ③ 송신원은 데이터 셀을 한번 전송할 때마다 ACR을 ACR/RDF 비율로 감소시키는데 이 비율은 Nrm 셀마다 변경된다.
- ④ 송신원은 ICR로 전송을 시작하며, PCR보다 높게 전송할 수 없고 망으로부터 MCR에 해당하는 최소대역폭을 보장받는다.
- ⑤ 송신원에서 CI=0인 역방향 RM 셀을 받으면 ACR이 전 RM 셀을 받은 이후로 감소된 전송속도를 복구하고 연결설정시에 협약된 AIR 만큼 증가시킨다.
- ⑥ 송신원에서 CI=1인 역방향 RM 셀을 RM 셀 내의 ER이 ACR보다 작을 경우 ACR을 ER로 대체한다.

2) 수신원 노드에서의 제어 (그림 3.3 참조)

- ① 수신원에서 순방향 RM 셀을 받으면 송신원으로 되돌려 역방향 RM 셀을 전송한다. 이때 RM 셀내의 전송 방향을 나타내는 DIR 비트를 순방향에서 역방향으로 바꾸어 준다.

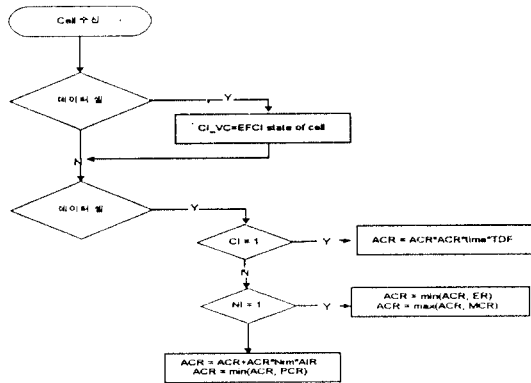


그림 3.3 수신원 노드에서의 제어 흐름도

- ② 만약 수신원에서 EFCI=1인 데이터 셀을 받으면 역방향 RM 셀을 만들 때 폭주상태를 지정한다. 이때 다음의 2가지 방식을 사용할 수 있다.
 - ㉠ 송신원의 전송속도를 감소시킬 수 있는 ER의 값을 지정한다.

- ㉡ RM 셀에 있는 CI 비트를 1로 바꾼다.
- ③ 수신원에서는 현재의 전송속도를 수용할 수 있을 지라도 ER을 더 낮출 수 있다.

3) 스위치 노드에서의 제어

- (1) 스위치 노드에서는 EFCI 기반 방식과 ER 기반 방식으로 구현할 수 있다.
- (2) EFCI 기반방식
 - ㉠ 스위치에서는 폭주상태를 나타내기 위해 데이터 셀의 EFCI 비트를 1로 바꾼다.
 - ㉡ 스위치에서는 폭주상태가 발생되었을 때 송신원이 전송속도를 증가시키지 않도록 역방향 RM 셀의 CI 비트를 1로 바꾼다.
- (3) ER 기반방식
 - ㉠ 스위치에서는 폭주상태를 나타내기 위해 순방향 RM 셀내의 ER 값을 지정한다.
 - ㉡ 스위치에서는 폭주상태가 발생되었을 때 역방향 RM 셀의 CI 비트를 1로 바꾸어 송신원이 전송속도를 증가시키지 않도록 하고 ER 필드에 낮은 전송속도의 값을 지정한다.

IV. ER 스위치 알고리즘의 제안

4.1 EMRCA 스위치 알고리즘

EPRCA 스위치 방식은 망에서의 트래픽 폭주상태를 판단하는 방법이 스위치의 큐 길이와 임계치 초과 여부를만 사용하는 것이었다. 셀 버퍼에는 경미한 폭주상태와 심각한 폭주상태를 나타내는 두 개의 임계치 T_{high} 와 T_{low} 를 가지고 폭주상태를 판단한다. 셀 버퍼에 있는 큐의 길이가 T_{low} 를 초과하면, 스위치는 경미한 폭주상태라고 인식하고 망의 폭주발생을 해제하기 위하여 지능적인 마킹을 수행한다. 따라서, 스위치는 모든 연결들에 대하여 MACR을 유지한다. 스위치는 모든 연결들에 대하여 MACR보다 큰 ACR은 전송률을 감소시켜야한다. 특히, 스위치는 폭주상태에 있는 동안 RM 셀에 있는 CCR이 $MACR \times DPF$ 를 초과하면, MACR에 근접하도록 전송률을 감소시킨다. 만약, 스위치가 계속 폭주상태로 남아있고, 큐의 길이가 T_{high} 를 초과하면 스위치는 심각한 폭주상태라고 인식하고 모든 연결들의 전송률은 자신의 현재 전송률에 관계없이 전송률을 감소시킨다.

여기에서, 가장 주요한 쟁점이 되는 MACR의 정확한 계산은 모든 연결된 전송률의 총계를 활성화(active)한 연결들의 총 수로 나누는 것이다. 이 평균전송률을 정확하게 계산하기 위하여 부동 소숫점 연산이 필요로 하기 때문에 실제 구현시 발생하는 하드웨어의 복잡성을 줄이기 위하여 식 (4-1) 같이 MACR의 근사치를 구하고 있다. AV는 지수 평균 계수(exponential Averaging factor)로 1/16이다.

$$MACR \approx MACR(1 - AV) + CCR \times AV \quad (4-1)$$

위에서 설명한 EPRCA 방식은 다음과 같은 결점을 갖고 있다.

첫째, EPRCA 방식은 연결시에 전송률을 선택적으로 제어하기 위하여 임계치를 이용한 모든 VC 연결에 MACR을 전송한다. 그러나, MACR을 정확하게 계산하기 위해서는 각 스위치 노드에 부동 소숫점 연산장치가 필요한데 이는 스위치 구현시 하드웨어의 복잡성만 가중시킨다.

둘째, 정확하게 MACR이 계산되었다 하더라도, EPRCA 방식은 불공평성과 수렴(convergence) 문제가 있다. 그 원인은 연결된 전송률만 감소시키기 위하여 선택된 하나의 임계치만 사용하기 때문이다. 폭주상태에 있는 동안 MACR 이상의 전송률을 가진 모든 연결들은 자신의 전송률에 상관없이 똑같은 값으로 전송률을 감소시켜 각 VC간의 불공평성을 야기시킨다.

셋째, 부동 소숫점 연산(제산)을 피하기 위하여 MACR을 계산하는 방식으로 지수적 평균 기법을 이용하여 근사치에 접근한다. 그러나, 이 근사치는 정확한 MACR과는 차이가 있어 결과적으로는 연결시에 대역폭 할당에 있어 부가적인 불공평성을 초래한다.

4.2 ACR 해석을 위한 기본 함수

송신원(SES)에서 망으로 트래픽을 보내주는 ACR은 스위치에서의 망의 폭주상태 여부에 따라 ACR을 조정하기 위한 기본 함수는 네가지 단계로 구분하여 표현할 수 있다. 이 네가지 단계는 현재 스위치에서의 폭주상태 그리고 버퍼가 채워져 있는 상태인지 비어있는 상태인지에 따라 다르게 표현된다.

단계 1: 비폭주상태이고 버퍼는 채워진 상태.

스위치가 폭주를 발견하지 않았으면 RM 셀에 있는

CI 비트=0인 상태이고 각 송신원(SES)에서의 ACR은 이미 설정된 PCR에 도달할 때까지, 그리고 역방향 RM 셀이 수신원을 경유하여 다시 송신원에 도착할 때까지 $N_{rm} \cdot AIR$ 으로 증가된다. ACR 증가는 식 (4-2)처럼 표현할 수 있다.

$$\frac{dACR(t)}{dt} = \frac{LCR}{N} \cdot AIR \quad (4-2)$$

식 (4-2)를 초기 조건 $ACR_1(0) = ACR(t_0)$ 에 대하여 풀면 식(4-3)을 얻을 수 있다.

Δt 는 단계 1을 시작하면서 경과된 시간이다.

$$ACR_1(\Delta t) = \min \left\{ PCR, ACR(t_0) + \frac{LCR}{N} \cdot AIR \cdot \Delta t \right\} \quad (4-3)$$

단계 2: 비폭주상태 이고 버퍼가 비어있는 상태

단계 1과는 반대로 버퍼가 비어있고 시간 t후에 역방향 RM 셀의 도착율은 송신원(SES)의 ACR 지연시간 τ 에 의존한다. $ACR(t-\tau)$ 을 식 (4-2)를 이용하여 미분방정식을 취하면 식 (4-4)를 구할 수 있다.

$$\frac{dACR_2(t)}{dt} = ACR_2(t-\tau) \cdot AIR \quad (4-4)$$

$$ACR_2(\Delta t) = \min \{ PCR, ACR(t_1) e^{\beta \Delta t} \} \quad (4-5)$$

$\beta = AIR e^{-\tau \beta}$ 의 근이었고, $ACR_2(0) = ACR(t_1)$ 과 같다.

단계 3: 폭주상태이고 버퍼가 채워진 상태

스위치에서 폭주상태가 발생하면, ACR은 역방향 RM 셀이 도착할 때까지 MCR 이하의 값에 도달될 때까지 지수적인 방법으로 감소된다. 이때의 ACR을 줄여주는 감소계수는 N_{rm}/RDF 이다. 스위치가 단계 3을 효과적으로 활용한다고 가정하면 송신원(SES)에 역방향 RM 셀의 도착율은 단계 1에서와 같이 식 (4-6)을 구할 수 있다.

$$\frac{dACR_3(t)}{dt} = -ACR_3(t) \frac{LCR}{N \cdot RDF} \quad (4-6)$$

식 (4-6)을 초기 조건 $ACR_3(0) = ACR(t_2)$ 로 풀면 식 (4-7)과 같다.

$$ACR_3(\Delta t) = \max \left\{ MCR, ACR(t_2) e^{-\frac{LCR}{N \cdot RDF} \Delta t} \right\} \quad (4-7)$$

단계 4: 폭주상태이고 버퍼가 빈 상태

단계 4는 이론상으로는 발생할 수 없는 경우이나, RM 셀에 우선 순위를 부여한다면 발생할 수 있다. 이 경우 버퍼의 길이는 RM 셀이 순방향이든 역방향이든 아무런 영향을 주지 않는다.

단계 3에서 분석한 것처럼 ACR에 대하여 미분 방정식을 취하면 식 (4-8)를 얻을 수 있다.

$$\frac{dACR_0(t)}{dt} = -ACR_4(t) \frac{ACR_4(t-\tau)}{RDF} \quad (4-8)$$

매우 작은 값이지만 지연시간 τ 와 ACR의 감소계수인 RDF를 적절하게 선택하여 $ACR(t_3)$ 로 전송된다면 식 (4-9)처럼 근사치를 구할 수 있는 방정식을 얻을 수 있다.

$$ACR_4(\Delta t) \approx \max \left\{ MCR, \frac{RDF}{\Delta t + \frac{RDF}{ACR(t_3)}} \right\} \quad (4-9)$$

각각의 4가지 단계를 통하여 버퍼의 길이에 대한 해석은 식 (4-10)에 의하여 ($i=1 \dots 4$) 계산할 수 있다.

$$Q_i(\Delta) = Q(t_{i-1} + \tau_i) + \int_{x-\tau_i}^t (N \cdot ACR_i(x-\tau_i) - LCR) dx \quad (4-10)$$

식 (4-10)을 이용하면 송신원(SES)과 ATM 스위치 사이의 지연시간(τ_i)을 고려할 수 있다. 또한 식 (4-10)을 이용하여 각 단계의 구간(duration)은 버퍼 입계치 QT와 DQT에 의해서 결정되어진다.

4.3 ACR과 큐 길이의 변화

M개의 트래픽 소스가 거의 동시에 전송을 시작한다고 가정하면, 각 소스는 동일한 ICR을 갖는다. 우선, 모든 VC_s의 ICR의 총계가 가용한 대역폭(BW)보다 적은 과도상태에서 송신원의 ACR을 고려해보자.

$$1) M \cdot ICR \leq BW$$

① 전송률 감소 경우: ($0 \leq t \leq RTT$)

소스가 시간 t_i 동안 i 번째 셀이 전송된다고 가정한다. i 번째 셀이 전송된 후 소스는 식 (4-11)과 같이 $ADR(t_i)$ 에 의해 ACR을 감소시킨다.

$$ACR(t_{i+1}) = ACR(t_i) - ADR(t_i), \quad (4-11)$$

t_{i+1} 은 식 (4-12)과 같이 계산된다.

$$t_{i+1} - t_i = \frac{1}{ACR(t_i)} \quad (4-12)$$

식 (4-11)을 식 (4-12)에 대입하여 정리하면 식 (4-13)을 구할 수 있다.

$$\frac{ACR(t_{i+1}) - ACR(t_i)}{t_{i+1} - t_i} = \frac{-ADR(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (4-13)$$

식 (4-13)에 극한을 취하면 식 (4-14)을 구할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} ACR(t) = -ADR(t) ACR(t) \quad (4-14)$$

이 때 $ADR(t)$ 는 N개의 셀들이 전송된 후에 ACR/RDF 값으로 변경되어진다. 주어진 N/RDF 값이 아주 작기 때문에, $ADR(t)$ 의 변화량은 시간(t) 의하여 바뀐다고 가정하면 식 (4-15)로 표현된다.

$$ADR(t) = \frac{ACR(t)}{RDF} \quad (4-15)$$

식 (4-14)와 식 (4-15)을 가지고 방정식을 풀면 식 (4-16)과 같이 표현할 수 있다.

$$ACR(t) = \frac{1}{t/RDF + 1/ICR} \quad (4-16)$$

(2) 전송률 증가: ($t \geq RTT$ 이고 $M \cdot ACR(t) \leq BW$)

소스는 시간 t 동안 RM 셀을 전송하고 다음 RM 셀은 $t + \tau(t)$ 만큼 경과한 후에 전송된다고 가정한다. 스위치의 상태가 폭주상태가 아니면 $\tau(t)$ 는 두 개의 RM 셀이 연속적으로 수신되는 시간 간격이다. $\tau(t)$ 는 $ACR(t)$ 를 계산하는 절대적인 함수값이다. 따라서 N개의 셀은 시간 간격(t, $t + \tau(t)$)에 의해서 전송 될 것이다.

$$N = \int_t^{t+\tau(t)} ACR(t) dt \quad (4-17)$$

특히, $0 \leq t \leq RTT$ 일 때 식 (4-16) 의하여 방정식을 풀면 식 (4-18)과 식 (4-19)를 구할 수 있다.

$$N = \int_0^{t(t)} \frac{1}{(\lambda + t)/RDF + 1/ICR} d\lambda \quad (4-18)$$

$$\tau(t) = (e^{N/RDF} - 1) \left(\frac{t}{RDF} + \frac{1}{ICR} \right) \quad (4-19)$$

$RTT \leq t < 2 \cdot RTT$ 일 경우에는 아직 망이 폭주상태가 아니라고 가정하면 RM 셀은 전송시간에서 왕복 지연시간을 뺀 만큼 지연된 후에 전송된다. 따라서, 송신원에서는 식 (4-20)처럼 $t + \tau(t - RTT)$ 만큼 시간이 경과한 후에 다음 RM 셀을 받을 수 있다.

$$ACR(t + \tau(t - RTT)) = ACR(t) + N \cdot AIR \quad (4-20)$$

식 (4-20)을 미분 방정식을 취하면 식 (4-21)을 얻을 수 있다.

$$\frac{d}{dt} ACR(t) = \frac{N \cdot AIR}{\tau(t - RTT)} \quad (4-21)$$

식 (4-19)과 식 (4-20)에 의해서 $ACR(t)$ 는 식 (4-22)의 형태로 치환된다.

$$ACR(t) = \left(\frac{RTT}{RDF} + \frac{1}{ICR} \right)^{-1} + \frac{N \cdot AIR}{e^{N/RDF} \log\left(\frac{ICR}{RDF} (t - RTT) + 1\right)} \quad (4-22)$$

$t \geq 2 \cdot RTT$ 이고 $ACR(t) < BW/M$ 일 때, 방정식 식 (4-17)과 식 (4-21)에 근거하여 $ACR(t)$ 의 해를 산출할 수 있다.

식 (4-17)를 사용하는 대신 식 (4-23)에 의하여 근사치를 구할 수 있다.

$$\tau(t) = \frac{N}{ACR(t)} \quad (4-23)$$

$$\frac{d}{dt} ACR(t) = AIR \cdot ACR(t - RTT) \quad (4-24)$$

식 (4-21)에 의해서 식 (4-24)는 지연 미분 방정식(delay-differential equation) 형태를 갖는다. 식 (4-24)를 시간간격($K \cdot RTT$, $(K + 1) \cdot RTT$) 값으로 안정상태에 도달될 때까지 반복하여 유도하면 $ACR(t)$ 를 구할 수 있다. 예를 들어 방정식 식 (4-16)과 식 (4-24)을 적용하여 $RTT \leq t < 2 \cdot RTT$ 동안 $ACR(t)$ 유도를 식 (4-25)을 구할 수 있다.

$$ACR(t) = \left(\frac{RTT}{RDF} + \frac{1}{ICR} \right)^{-1} + RDF \cdot AIR \cdot \log\left(\frac{ICR}{RDF} (t - RTT) + 1\right) \quad (4-25)$$

N/RDF 는 거의 0에 근사하므로 $ACR(t)$ 는 식(4-22)에 극한을 취하면 식(4-25)에 의하여 유도할 수 있다.

2) $M \cdot ICR \geq BW$

$M \cdot ICR \geq BW$ 일 때는, 스위치가 즉시 폭주상태에 돌입할 것이고, 큐 길이도 증가하기 시작할 것이다. RM 셀은 망의 폭주정보를 소스에게 알려준다. 따라서 소스는 스위치가 폭주해제 상태가 될 때까지 되도록 ACR 을 감소시킬 것이다.

① 전송률 감소 경우 1: ($t \geq 0, 0 < Q(t) < DQT$, 그리고

$$\frac{d}{dt} Q(t) > 0$$

이런 경우는 식 (4-16)를 유도함으로써 아래와 같은 식 (4-26)을 도출할 수 있다.

$$ACR(t) = \frac{1}{t/MD + 1/ACR(0)} \quad (4-26)$$

② 전송률 감소 경우 2: ($t > RTT$ 이고 $Q(t) \geq DQT$)

모든 트래픽 소스의 전체 셀 전송률은 $\gamma < BW/(ICR \cdot M)$ 에 의해서 가용 대역폭을 감소시킬 것이다. 트래픽 소스의 ACR 은 왕복 지연시간 후에 BW/M 보다 작으면 식 (4-27)과 전송률 ICR 에 의해 증가된다.

$$ACR(RTT) = ICR \cdot \gamma \quad (4-27)$$

4.4 최대 큐 길이

$M \cdot ICR > BW$ 일 때 $ACR(0) = ICR = Q(0) = 0$ 으로 설정한다. 폭주가 발생한 스위치에서의 큐 길이는 식 (4-28)와 같이 표현된다.

$$Q(t) = \int_0^t \max(M \cdot ACR(\lambda) - BW, 0) d\lambda \quad (4-28)$$

① $Q(t) < DQT, t \geq 0$ 일때

각 트래픽 소스의 전송률은 큐 길이가 감소하기 시작할 때까지 계속 감소되기 때문에, 모든 트래픽 소스

M은 전송시간 T동안 $ACR(T) = BW/M$ 에 도달된 것이다. 따라서 식 (4-16)에 의하여, 다음의 식 (4-29)을 구할 수 있다.

$$T = RDF \cdot \left(\frac{M}{BW} - \frac{I}{ICR} \right) \quad (4-29)$$

따라서, 큐 길이가 $M \cdot ACR(t) > BW$ 상태로 있는 한 증가되기 때문에, 큐는 최대 큐 길이인 Q_{max} 에 도달 될 것이다.

$$Q_{max} = Q(T) = \int_0^T \left(\frac{M}{t/RDF + 1/ICR(0)} - BW \right) dt$$

$$= RDF \cdot \left[\frac{BW}{ICR} + M \cdot \left(\log \frac{M \cdot ICR}{BW} - 1 \right) \right] \quad (4-30)$$

② $Q(t) > DQT$, ($0 < t < RTT$ 이고 $M \cdot ICR \leq BW/\gamma$)

γ 는 $BW/(M \cdot ICR)$ 보다 작다고 가정하면 최대 큐 길이 Q_{max} 는 식 (4-31)과 같다. $Q(0)$ 는 $0 < t < RTT$ 동안 DQT 보다 훨씬 크다. 왕복 지연시간(RTT)동안 모든 소스의 전체 전송률은 $M \cdot ICR \cdot \gamma$ 이 가용 대역폭이 BW 보다 작으면 RDF 의해 전송률이 감소된다. 따라서 활용 가능한 대역폭 BW 도 작아진다. $Q_{max} = Q(RTT)$ 로 치환하여 식 (4-32)를 풀면 식 (4-33)을 취할 수 있다.

$$Q_{max} = Q(RTT) = \int_0^{RTT} \max \left(\frac{M}{t/RDF + 1/ICR(0)} - BW, 0 \right) dt \quad (4-31)$$

$$\frac{M}{RTT/RDF + 1/ICR} - BW \geq 0 \text{라고 가정하면, 식 (4-32)}$$

처럼 최대 큐 길이를 구할 수 있다.

$$Q_{max} = M \cdot RDF \cdot \log \left(\frac{RTT}{RDF} ICR + 1 \right) - BW \cdot RTT \quad (4-32)$$

V. 시뮬레이션 및 결과 분석

5.1 시뮬레이션 모델

EPRCA 스위치 방식과 EMRCA 스위치 방식의 ABR 서비스 폭주제어의 성능을 분석하기 위하여 4개의 ABR 서비스 연결과 2개의 스위치 노드를 연결한 망 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 다음 그림 5.1과 같다. 시뮬레이션 모델

은 2개의 스위치로 구성된 주차장(parking lot) 모델로서 각 소스들은 155Mbps 링크로 스위치에 연결되어 있고 링크 1과 링크 2는 155Mbps의 전송 속도를 갖는다. 송수신원과 스위치 사이의 거리는 1km로 구성하였고, 스위치 1과 스위치 2의 거리는 LAN 환경과 WAN 환경을 고려하여 각각 5km, 200km로 구성하였다. 그리고, 각 스위치 노드사이의 전파 지연 시간은 1msec로 가정하였다. 스위치 1에 연결된 소스 1과 소스 2는 persistence 트래픽 발생 모델을 사용하였고, 스위치 2에 연결된 소스 3과 소스 4는 Staggered 트래픽 발생 모델을 사용하였다. 소스 1과 소스 2의 연결 지속 시간은 840 msec이며 소스 3과 소스 4는 240 msec에서 전송을 시작하여 1120 msec까지 전송을 하게 하였다.

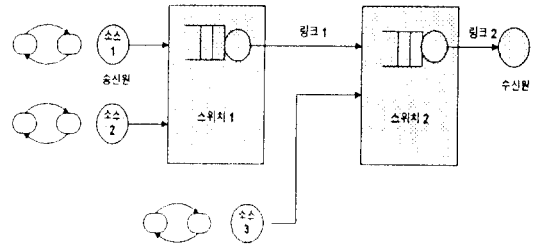


그림 5.1 시뮬레이션 모델

표 5.1 시뮬레이션에 사용된 ABR 파라미터

파라미터	Value	파라미터	Value
PCR	155 Mbps	DPF	7/8
MCR	1.55 Mbps	IPF	9/8
ICR	7.75 Mbps	Nrm	32
ADR	1.55 Mbps	QT	300
PDR	0.155 Mbps	DQT	600
AIR	1.55 Mbps	Ngl	30
MX_MN_DIFF	15.5 Mbps	RQL	2

5.2 결과 및 분석

5.2.1 ACR 변화 비교

스위치 1과 스위치 2에 연결된 모든 소스를 모두 수용하였을 경우 송신원들의 ACR 변화를 나타낸 것이다. 그림 5.2는 LAN 환경에서 ACR의 변화, 그림

5.3은 WAN 환경에서 ACR 변화를 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 것이다. ACR의 변화는 역방향 RM 셀의 CI 비트 상태에 따라 증가 파라미터와 감소 파라미터에 의해 조정되는데 ACR의 변화가 적고 일정한 값을 유지하는 것이 ABR 서비스 품질 유지와 망의 폭주제어가 용이하다. 송신원은 전송을 개시하여 240 msec까지는 소스 1과 소스 2만 전송을 하므로 링크 대역폭 155Mbps를 전부 점유하여 사용하고, 240 msec에서 840 msec까지는 소스 3과 소스 4가 전송을 시작하게 되어 모든 소스가 링크 대역폭을 공유함을 알 수 있다. 소스 1과 소스 2가 전송을 중단하는 840 msec 이후에는 스위치 2에 연결된 소스 3과 소스 4가 모든 링크 대역폭을 할당받게 된다.

시뮬레이션을 수행한 결과 LAN/WAN 환경에서의 ACR 변화모양이 비슷하였다. 그러나 EPRCA 스위치 방식을 사용한 경우에는 초기 과도상태와 스위치 2가 전대역을 모두 사용하는 840 msec를 경과한 시점에서 ACR 변화폭이 심한 것을 볼 수 있지만 제안 EMRCA 스위치 방식의 경우 소스들이 전송을 시

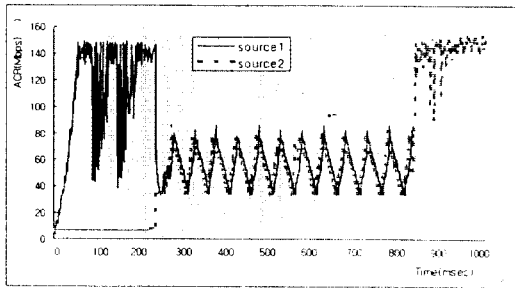
작하는 초기상태에서 약간의 ACR 변화를 볼 수 있고 평형상태에서는 ACR 값이 매우 안정적인 것을 볼 수 있다.

LAN과 WAN 환경에서 240 msec 지난 후 스위치 1과 스위치 2에 연결된 모든 소스들이 공평하게 대역을 할당되고, 망에 일시적으로 과도 트래픽이 없는 평형상태에서 ACR의 변화가 매우 적었다.

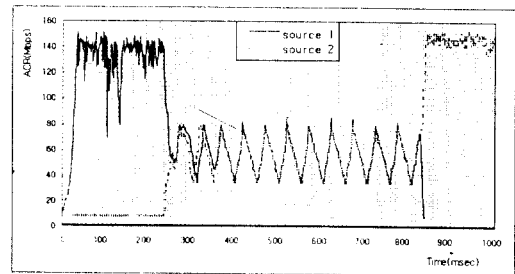
표 5.2 LAN/WAN에서의 ACR 변화

		EPRCA 스위치	EMRCA 스위치
LAN	최소 전송률	37 Mbps	79 Mbps
	최대 전송률	153 Mbps	151 Mbps
WAN	최소 전송률	35 Mbps	37 Mbps
	최대 전송률	151 Mbps	146 Mbps

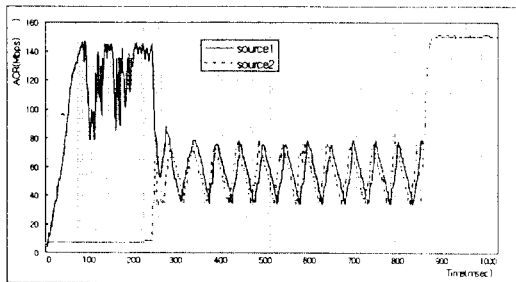
표 5.2에 나타난 것처럼 EMRCA 스위치 방식이 EPRCA 스위치 방식보다 과도상태와 평형상태에서 ACR의 진동폭이 적고 안정적이다. 따라서 EMRCA 스위치 알고리즘의 성능이 우수함을 알 수 있다.



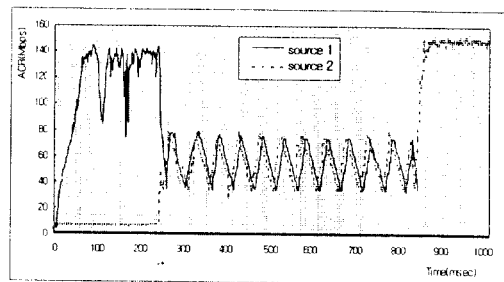
(a) EPRCA 방식



(a) EPRCA 방식



(b) 제안 EMRCA 방식



(b) 제안 EMRCA 방식

그림 5.2 LAN 환경에서 ACR 변화

그림 5.3 WAN 환경에서 ACR 변화

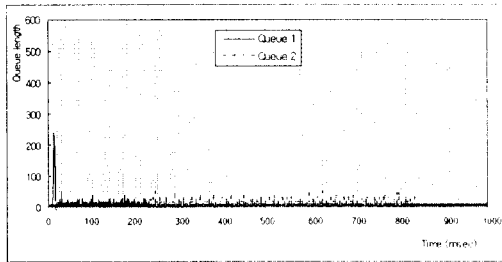
5.2.2 스위치의 큐 길이 변화

그림 5.4와 그림 5.5는 LAN 환경과 WAN 환경에서의 스위치 1과 스위치 2의 큐 길이 변화에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 시작에서 소스 1과 소스 2가 동시에 전송을 시작하므로 초기 과도상태에서 스위치 1은 경미한 폭주 발생을 경험하지만 소스 3과 소스 4가 전송을 시작하는 240 msec 이 후에는 망에 과도한 트래픽이 유입되기 때문에 스위치 2는 심각한 폭주상태를 경험하게 된다. LAN 환경에서 EPRCA 스위치는 평형상태에서 거의 스위치 큐에 셀이 쌓이지 않고 과도상태에서만 약간의 큐 증가를 관찰할 수 있다. 반면 제안 EMRCA 스위치는 평형상태에서도 큐에 약간의 셀들이 쌓이는 것을 볼 수 있다. 제안 EMRCA 스위치 알고리즘을 사용한 경우 망에 과도한 트래픽이 유입되면 큐 길이는 최대 전송률과 최소 전송률값이 임계치에 의해 설정되어 송신원에서 전송되는 전송률을 제어하면서 전송률이 임계치 QT 이하로 낮아져 폭주해제를 송신원에 알려줄 때까지 평균 큐 길이를 유지하다가 폭주

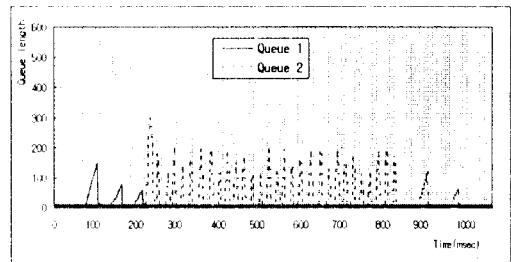
해제가 되어 망이 평형상태에 진입하는 것을 관찰할 수 있다.

WAN 환경에서의 스위치의 큐 길이 변화는 EPRCA 스위치의 경우 링크 1과 링크 2에 서로 다른 송신원이 대역폭을 공유하는 240 msec에 순간적으로 큐에 셀이 상당히 쌓이고 있음을 알 수 있다. 300 msec 이 후 평형상태에서는 안정적이지만 과도상태에서 셀 손실이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 제안 EMRCA 스위치의 경우 WAN에서 과도기간에 큐 길이 증가가 있지만 트래픽 폭주가 발생하면 폭주상태를 판단하는 임계치 DQT, QT에 의하여 송신원의 전송률을 신속하게 감소시켜 큐 길이를 일정하게 유지하고 있다.

표 5.3에 나타난 것처럼 WAN 환경하에서 EMRCA 방식이 EPRCA 방식보다 낮은 수준의 큐 길이로 안정적으로 폭주발생을 대처할 수 있는 것은 잠재적으로 내재된 폭주발생 가능성이 있는 연결들의 트래픽을 송신원이 미리 전송률을 감소시켜 폭주를 예방한 결과이다.

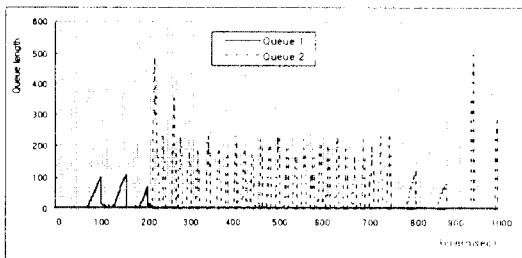


(a) EPRCA 방식

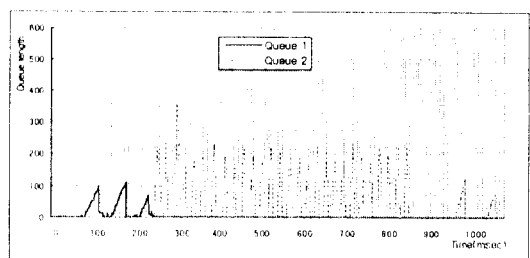


(b) 제안 EMRCA 방식

그림 5.4 LAN 환경에서 스위치 큐 길이의 변화



(a) EPRCA 방식



(b) 제안 EMRCA 방식

그림 5.5 WAN 환경에서 스위치 큐 길이의 변화

표 5.3 LAN/WAN에서의 스위치 큐 길이 변화

		EPRCA 스위치	EMRCA 스위치
LAN	최소 큐 길이	20	60
	최대 큐 길이	57	350
WAN	최소 큐 길이	82	90
	최대 큐 길이	530	350

5.2.3 링크 이용률 비교

그림 5.6과 5.7은 링크 이용률을 나타낸 것이다. LAN 환경에서 EPRCA 스위치 방식의 경우 링크 이용률이 93% 부근에서 유지되는 것을 볼 수 있다. 제안 EMRCA 스위치 방식의 경우는 평형상태에서 링크 이용률이 거의 97%인 것을 알 수 있다.

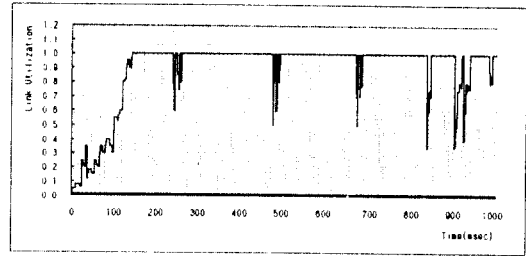
WAN 환경에서의 EPRCA 스위치 경우 평형상태에서도 링크 이용률 저하가 매우 심한 것을 볼 수 있는데, 이것은 망에 폭주가 발생하면 MACR을 계산하여 모든 연결의 전송률을 MACR 값으로 감소시키시 때문에 링크 이용률을 저하시킨다. 제안 EMRCA 스위치 방식은 송신원에서 전송하는 전송률을 스위치 큐에 있는 두 개의 임계치가 최대 전송률과 최소 전송률로 폭주가 발생된 연결만 선택하여 전송률을 감소시키기 때문에 평형상태에서 거의 95%의 매우 높은 링크 이용률을 보이고 있으며 잠재적 폭주발생을 사전에 탐지하여 전송률을 제어하기 때문에 셀 손실이 거의 발생하지 않는다.

표 5.4 시뮬레이션 기간동안 평균 링크 이용률

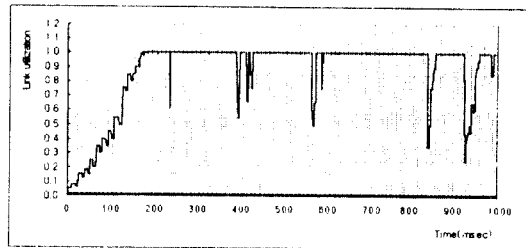
	EPRCA 스위치	EMRCA 스위치
LAN	93.39%	98.46%
WAN	76.05%	95.18%

표 5.4는 시뮬레이션 기간동안 링크의 평균 이용률을 나타낸 것이다. LAN 환경에서의 결과를 보면 EPRCA 스위치의 경우 93%의 평균 링크 이용률을 보인다. 제안된 EMRCA 스위치 알고리즘은 98% 이상의 높은 평균 링크 이용률을 보였다.

WAN 환경에서 결과를 보면 제안된 EMRCA 스위치 알고리즘이 95% 이상의 매우 높은 평균 링크 이용률을 보여 76%의 평균 링크 이용률을 보인 EPRCA 스위치

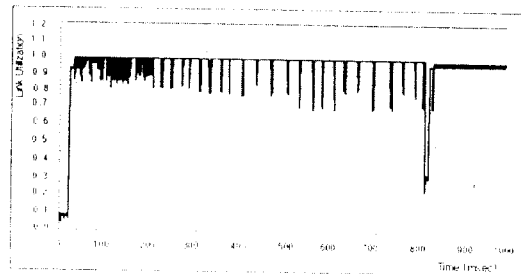


(a) EPRCA 방식

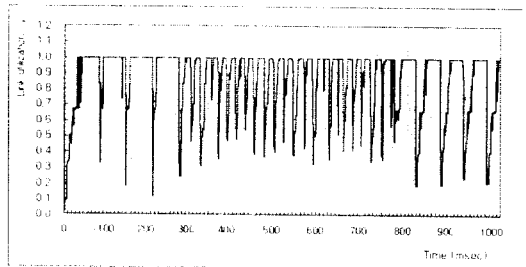


(b) 제안 EMRCA 방식

그림 5.6 LAN 환경에서 링크의 이용률 변화



(a) EPRCA 방식



(b) 제안 EMRCA 방식

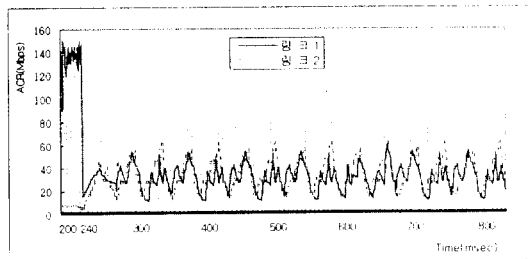
그림 5.7 WAN 환경에서 링크 이용률 변화

알고리즘보다 링크 이용률 측면에서 EMRCA 스위치 알고리즘의 성능이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

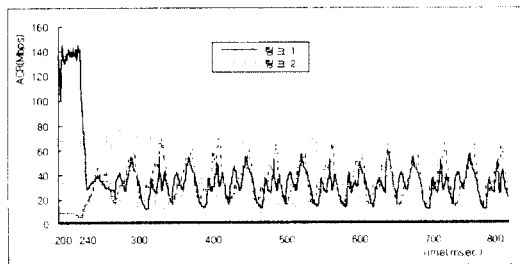
5.2.4 공평성 지수 비교

그림 5.8은 시간에 따른 공평성 지수를 나타낸 것이다. 스위치 2에 소스 3과 소스 4가 추가로 전송을 시작하는 240 msec부터 링크 대역폭 전부를 공유하면서 송신원에서의 급격한 전송률 감소를 보이면서 링크 1과 링크 2에 전송 대역폭이 공평하게 할당되고 있음을 보여주었다.

그림 5.8에서 나타난 바와 같이 LAN/WAN 환경에서 EPRCA 방식과 EMRCA 방식 모두 공평성 보장이 매우 우수함을 확인할 수 있다. WAN 환경에서는 EPRCA 스위치의 경우 망에 거리가 다른 VC가 존재할 때 공평성이 좀 떨어지지만 큰 성능 저하는 볼 수 없다. 제안 EMRCA 스위치 알고리즘은 공평성 부분에서 우수한 성능을 유지하는 것을 확인할 수 있다.



(a) EPRCA 방식



(b) 제안 EMRCA 방식

그림 5.8 LAN 환경에서 공평성 지수 변화

위에서 EPRCA 스위치 방식과 EMRCA 스위치 방식의 송신원 동작 변화에 따른 성능을 살펴보았다. EPRCA 방식은 망에 폭주상태가 발생하면 폭주가 발생된 인접의 전송률을 제어하기 위하여 폭주발생 여부를 판단하는 하나의 임계치를 사용하여 MACR을 계산하여 모든 VC 연결에 MACR을 전송한다. 송신원에서 매 셀을 전송할 때마다 CCR의 정보를 순방향 RM 셀에 실어보내고, 스위치는 이 피드백 정보를 이용하여 MACR을 계산하였다. EPRCA 방식에서 역방향 RM 셀을 받았을 때만 ACR을 감소시키는 것과는 달리 EMRCA 방식은 전송률의 최대값과 최소값을 일정하게 유지하고 있어 망이 폭주가 발생시에 해당 연결들에 대하여 ACR을 변화시킴으로써 평형상태에서의 ACR이 감소되었고, 과도상태에서의 ramp-up 시간도 다소 개선되었다. 큐 길이를 살펴보았을 때는 EMRCA 방식은 LAN 환경에서 전체적인 큐 길이는 조금 증가하였으나 평형상태에서의 큐 길이가 감소되었고, WAN 환경에서는 전체적인 큐 길이가 줄어 들어 큐 특성이 개선되었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 ATM 망의 ABR 서비스 트래픽 제어를 위해 새로운 ER 피드백 스위치 알고리즘인 EMRCA(Explicit Max-min Rate Control Algorithm) 기법을 제안하였다. 제안 EMRCA 스위치 방식은 스위치 노드에서의 폭주를 찾아내기 위하여 셀 버퍼 안에 있는 큐에 두 개의 임계치 QT와 DQT를 사용하여 과도 상태와 평형상태에서의 ACR의 변화를 해석하여, 연결들 간에 최대전송률과 최소전송률의 차이를 줄여 링크 대역폭의 활용을 증가시켰다. 제안 방식은 폭주발생시 전송률을 감소시키는 연결들을 선택하기 위하여 완성화된 모든 연결들에 대하여 최소 전송률과 최대 전송률을 사용한다. 또한 선택된 연결들의 전송률을 사전에 조정함으로써 잠재적으로 내재된 폭주발생을 예방시키 주는 폭주탐지 메커니즘을 사용한다.

본 연구에서는 EPRCA 스위치 알고리즘과 제안 EMRCA 스위치 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 각 송신원에서의 전송률(ACR)의 변화, 스위치의 큐 길이, 링크 이용률과 송신원들이 할당받은 전송률의

공평성 여부를 평가기준으로 하여, 시뮬레이션을 수행한 결과 제안 EMRCA 스위치 알고리즘이 EPRCA 스위치 알고리즘보다 전송률의 변화가 안정적이며 높은 링크 이용률을 유지하면서도 스위치의 큐 길이 변화가 적었고 공평성 지수에는 별 차이가 없어 전반적으로 성능이 우수함을 알 수 있었다. 마지막으로 스위치 버퍼에 두 개의 임계치를 사용하여 망의 트래픽 폭주발생을 억제하기 위하여 스위치 노드에 도착하는 모든 연결의 최대 전송률 ACRMAX 값과 최소 전송률 ACRMIN 값을 적절하게 유지하기 때문에 기존의 방식에서 MACR 값을 계산하기 위한 부동 소숫점 연산의 필요성을 제거하였기 때문에 EPRCA 방식 및 기존의 다른 전송률 방식보다도 하드웨어의 복잡성을 상당히 낮추었다.

앞으로의 연구 과제는 다른 ER 피드백 스위치 알고리즘인 NIST, ERICA, CAST 등의 방식들과 이진 피드백 스위치 알고리즘과 성능 비교를 하기 위하여 지속적인 연구가 더욱 요구된다.

참 고 문 헌

1. The ATM Forum Technical Committee, "Traffic Management specification version 4.0", ATM Forum Contribution 96-0013R1, 1996.
2. ITU-T Recommendation I.371 1995, Geneva.
3. Shirish S. Sathaye, "Draft Version 3.0 of ATM Forum Traffic Management Specification version 4.0", ATM Forum/95-0013R2, April. 1995.
4. Shirish S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0 EDITION VERSION", ATM Forum/95-0013R4, May. 1995.
5. Shirish S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0", ATM Forum/95-0013R9, Dec. 1995.
6. Shirish S. Sathaye, ATM Forum a Management Specification Version 4.0 ATM Forum/95-0013R10, Feb. 1996.
7. Kai-Yeung Siu and Hong-yi Tzeng "Intelligent Congestion Control for ABR Service in ATM Networks", ATM Computer Communication Review, vol. 24, Oct 1995.
8. Ray. Jain, "Congestion Control and Traffic management in ATM Networks:Recent Advances and A survey", Submission to Computer Networks and ISDN System, Feb. 1995.
9. Katsumi Yamato and Hiroshi Esaki, "Congestion control for ABR Service Based on Dynamic UPC/NPC", IEICE TRANS. COMMU. Vol. E79-B. No 2, pp. 142-147, Feb, 1996.
10. N. Yin and M. G. Hluchyi, "On Closed-loop rate control for ATM Cell relay networks", IEEE INFOCOM '94, pp. 99-100, June. 1994.
11. Michel Ritter "Network Buffer Requirements of the Rate-based Control Mechanism for ABR Services", pp. 1191-1192, 1996.
12. Hiroshi Saito, Konosuke Kawashima, Hideo Kitazume, Arate Koike, Mike Ishizka, and Atsushi Abe, "Performance Issue in Public ABR Service", IEEE Commun. mag, pp. 41-42, Nov, 1996.
13. R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks:Recent Advances and A Survey", ATM Forum/95-0177, pp. 1-20, Jan, 1995.
14. Nanying Yin,Michael G. Gluchyj, "On Closed-Loop Rate Control for ATM Cell Relay Networks", INFORCOM '94, pp. 99-108, June. 1996.
15. Lloren Cerd and Olga Casals, "A Simulation Study of Switching Mechanisms for ABR Service in ATM Networks", ACTS 094 "EXPERT", Technical Paper, pp. 1-12, Jan. 1996.
16. 허재호, 식정봉, 김용진, 김장경, "ATM망의 ABR 서비스 트래픽 제어를 위한 backpressure 방식", 한국정보과학회논문지(A), 제 24권 제 2호, pp. 1481-1482 Feb. 1997.
17. 이우섭, 박홍식, 황치정, "ATM망에서 ABR 서비스를 위한 트래픽 제어 연구", 한국 통신 학회지, 제20권 제8호, pp. 2346-2361, Nov. 1995.
18. 안윤영, 이우섭, 박홍식, "ATM망에서 ABR 서비스 대역 할당을 위한 Dynamic MB 메커니즘", 한국통신학회논문지, Vol. 22, No. 2, pp. 269-270, Feb. 1997.
19. 이우섭, 안윤영, 박홍식, "ATM망에서 ABR 서비스

- 스를 위한 전송 대역 관리 및 할당”, 한국통신학회논문지, Vol. 23, No. 3, pp. 368-372, Mar. 1997.
20. 조유제, “ABR 서비스를 위한 폭주제어 기술동향”, 텔레콤 제11권 제1호, pp. 23-34, June. 1995.
 21. 김동호, 조유제, 안윤영, 박홍식, “ATM망에서 ABR 서비스를 위한 이진 피드백 스위치 알고리즘의 성능해석”, 한국통신학회논문지, Vol. 22, No. 1, pp. 163-165, Jan. 1997.
 22. 김광렬, 조유제, 박홍식, “ATM망에서 ABR 서비스를 위한 전송률 기반 폭주제어의 스위치 알고리즘에 대한 성능분석”, 한국정보과학회지, '95 가을 학술발표 논문집(B), Oct, 1995.
 23. 양기원, “망 구성에 따른 ABR 트래픽 제어 알고리즘의 공평성 분석”, 충북대학교, pp. 7-32, Feb, 1997.
 24. 박성곤, 이병수, 구경욱, 조용환, “멀티미디어 트래픽 제어를 위한 Hybrid LB-TJW 알고리즘에 관한 연구”, 한국통신학회논문지, Vol. 22, No. 4, pp. 842-854, April. 1997.



김 운 하(Woon Ha Kim) 정회원

1956년 3월 10일생

1980년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사

1991년 2월: 한양대학교 산업대학원 석사

1980년~1983년: 한국전자통신연구소 연구원

1984년~현재: 한국통신 연구개발본부 책임연구원(광선로연구실장)

※주관심분야: B-ISDN/ATM, 광통신

박 성 곤(Sung Gon Park)

한국통신학회 논문지 1997년 5월호, 제22권 제5호 참조

조 용 환(Yong Hwan Cho)

한국통신학회 논문지 1997년 5월호, 제22권 제5호 참조