

論文98-35S-9-4

ATM 망에서 ABR 서비스를 위한 전송률 기반 폭주 제어 알고리즘

(A Transfer Rate-Based Congestion Control Algorithm for ABR Service in ATM Networks)

趙誠九*, 趙成賢**, 吳閔卓**, 朴成漢**

(Sung-Goo Cho, Sung-Hyun Cho, Yoon-Tak Oh, and Sung-Han Park)

요 약

본 논문에서는 ATM 망에서 ABR 서비스를 효율적으로 제공하기 위해 ABR 소스가 전송하는 데이터 전송률에 기반한 폭주 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 망의 가용 대역폭에 따라 각 소스에 할당될 대역폭을 계산하여 RM 셀의 ER 필드에 넣어 전송한다. ATM 스위치는 ABR 소스의 단위 시간당 전송하는 셀 전송률의 변화율에 기반하여 대역폭을 계산한다. 제안된 방법은 각 소스의 전송률 변화에 따라 망의 가용 대역폭을 활용하기 때문에 각 소스의 상태에 따라 동적으로 대역폭을 할당할 수 있고 또한 스위치가 소스의 전송률 변화에 빠르게 적응한다. 본 논문에서 제안한 방법과 기존의 동적 폭주 제어 방법에 대한 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 기존의 방법보다 소스의 상태에 능동적으로 대처하며 링크의 이용률이 향상됨을 보여준다.

Abstract

In ATM networks CBR data traffic is sent in constant bit rate, and VBR data traffic in variable bit rate. Therefore unused bandwidth at network capacity may exist. To avoid waste of network resources, ABR traffic utilizes the unused bandwidth to the utmost after CBR and VBR data traffic being first served. In this paper, a transfer rate-based congestion control algorithm is proposed for efficient ABR service in ATM networks. In the proposed algorithm the ATM switch first calculates bandwidth according to variable cell transfer rate in an ABR source, records this value in ER field in a RM cell, and then transmits a RM cell to an ABR source. In this way the proposed algorithm dynamically allocates bandwidth to each ABR source, and the switch also can rapidly adapt to a change of a transfer rate of an source. The performance simulation of the proposed algorithm has better performance in terms of source condition and link utilization.

I. 서 론

다양한 서비스를 위해 만들어진 ATM 망에서 CBR 트래픽은 일정한 데이터 전송률로 데이터를 전송하므로 초기 연결 수락 제어에만 신경을 쓰면 된다. 그러나 VBR 트래픽의 경우에는 데이터 전송률이 시

간에 따라 변화하므로 이에 대한 제어가 필요하다^[1].^[2] 이와 같은 VBR 트래픽의 특성으로 인하여 망 자원 중에 사용되고 있지 않은 부분이 발생하게 되고 이러한 가용 대역폭을 효과적으로 사용하기 위해 ABR 트래픽이 제안되었다^[3]. ABR 트래픽은 가용 대역폭의 변화에 따라 망으로부터 데이터 전송률 조절 명령을 받게 된다. 이러한 폭주 제어 방법으로 초기에는 폭주를 통보하는 방식을 사용하여 각 소스가 일정한 비율로 데이터 전송률을 감소하는 방법이 사용되었으나 근래에는 선택적인 폭주 제어나 ER 필드를 사용한 폭주 제어 방법으로 발전하였다^[4]. 기존의 ABR 소스는 항상 전송할 데이터가 존재하고 따라서 데이터

* 正會員, LG 情報通信

(LG Information & Communication)

** 正會員, 漢陽大學校 電子計算科

(Dept. of Computer Science & Eng., Hanyang Univ.)

接受日字: 1997年12月29日, 수정완료일: 1998年7月27日

전송률에 변동이 없었으나 최근에는 VBR 트래픽과 같이 on-off 모델을 따르는 소스에 대한 연구가 진행 중이다 [5]. 따라서 이러한 소스를 위해서는 각 소스의 상태에 따른 적절한 제어가 필요하다.

이러한 ABR 트래픽 폭주 제어를 위한 방법에서 효율적인 ABR 서비스 제공을 위해서 망의 부하가 안정적이어야 하며, ABR 서비스를 통한 망 자원 활용의 효율성, 그리고 공정한 대역폭 할당이 필요하다. 이러한 조건을 만족시키기 위한 ABR 트래픽 폭주 제어 기법들이 많이 제안되고 있다^{[6],[7]}. 이들 중에는 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) [8], [9]나 MMRCA(Max-Min Rate Control Algorithm) [10], DRBCA(Dynamic Rate-Based Control Algorithm) [5] 등이 있다.

EPRCA는 큐 상에 2개의 임계값을 사용하여 첫 번째 임계값을 넘으면 전체 ABR 소스의 평균 전송률보다 큰 전송률을 갖는 소스의 전송률을 선택적으로 감소시킨다. 두 번째 임계값을 넘으면 모든 소스의 전송률을 감소시킨다. 그러나 이 방법은 평균 전송률에 의존하며 일률적인 폭주 제어를 함으로 소스의 상태에 따른 능동적인 대처 능력이 부족하다. MMRCA 기법도 EPRCA와 마찬가지로 두 개의 임계값을 사용한다. 전체 소스의 데이터 전송률 중에서 최대 전송률과 최소 전송률을 기록하고 이에 따라 선택적으로 폭주 제어를 한다. 그러나 이 방법은 최소 전송률이 현저히 작은 경우 거의 모든 연결의 전송률을 감소시키므로 그다지 공정한 방법이 아니다. DRBCA 기법은 앞선 두 개의 알고리즘과 달리 동적인 폭주 제어를 한다. 가용 대역폭을 전체 연결의 수로 나누어 각각의 MCR(Minimum Cell Rate)에 더한 값을 ER 필드에 기록하여 소스에 전달한다. 그러나 이 방법은 가용 대역폭을 단순히 연결의 수로 나누어 할당함으로써 각 소스의 상태에 따른 할당 능력이 부족하다. 이 알고리즘은 CBR과 VBR 트래픽에 대한 서비스를 제공하고 남은 가용 대역폭을 모든 ABR 트래픽에 동일한 비율로 분배하게 된다. 따라서 실제 각 소스가 필요로 하는 대역폭에 따른 능동적인 대역폭 할당이 아닌 일률적으로 분배되는 수동적인 방식이므로 각 소스 별로 대역폭의 낭비나 부족 현상이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 각 연결의 데이터 전송량의 증감율을 계산하여 이에 비례하는 대역폭을 할당하는 방법을 제안한다. 즉 데이터

전송률이 가변적인 ABR 소스를 제어하기 위한 방법으로서 능동적인 대역폭 분배를 위해 본 논문에서는 각 소스에서 전송하는 데이터 양의 변화율을 사용하고 자 한다. 제안하는 방법은 대역폭을 망 상태에 능동적으로 대응하며 효율적으로 ABR 소스를 전송할 수 있는 장점이 있다.

2장에서 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 살펴보고 3장에서 제안한 방법의 시뮬레이션 모델 설정과 시뮬레이션 결과를 통한 성능분석 및 평가를 한 후 4장에서 결론을 맺는다.

2. ABR 서비스를 위한 전송률 기반 폭주 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 능동적 알고리즘은 대역폭 분배를 소스측, 정방향(forward) RM 셀에 대한 스위치측 및 역방향(backward) RM 셀에 대한 스위치측 알고리즘으로 나누어 생각한다.

1) 소스측 알고리즘

일반적으로 소스의 상태는 데이터 전송량을 계산함으로써 미리 예측할 수 있다. 즉 이전 데이터 전송량보다 많은 데이터를 전송하였다면 더 많은 대역폭을 요구하게 될 것이며 이전보다 적은 데이터를 전송하였다면 요구 대역폭은 감소하게 될 것이다. 이와 같이 데이터 전송량의 변화율에 따라 대역폭을 할당한다면 소스의 상태에 적절한 대역폭 할당을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 다음과 같은 특징을 이용하여 소스에서 데이터 전송률과 변화율을 계산하여 RM 셀^[11]을 통해 중간 스위치로 전달하고, 중간 스위치는 그 정보에 따라 대역폭을 분배하는 방식을 사용한다. 따라서 소스측에서 망측으로 현재의 소스 상태인 데이터 전송률과 변동율을 알리기 위해 소스는 매 ($Nrm-1$) 개의 데이터 셀을 보낼 때마다 RM 셀을 전송한다. 여기서 Nrm 은 연결 설정 시에 망측에 의해 제공되는 값으로 망의 상태를 최적화할 수 있는 값으로 결정된다. RM 셀에는 소스의 현재 데이터 전송률과 변동율이 기록되어 망으로 전송된다. 현재 데이터 전송률을 SASR(Segmental Average Source Rate)이라 명하면 이 값은 Nrm 을 RM 셀 전송 시간 간격으로 나누어 구한다. SASR의 변동률 VR(Variable Rate)은 이전 SASR 값과 현재 SASR 값의 비율로써 구한다. 이를 식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$VR = \frac{SASR_{latest}}{SASR_{old}} \quad (1)$$

```

if (data cell to send) {
  /* check if RM cell to be sent */
  if (RM_count = Nrm) {
    SASRi =  $\left( \frac{N_{rm}}{\text{current\_time} - \text{last\_RM\_time}} \right)$ 
    SASRicell = min(SASRi, ACRi)
    VRi =  $\frac{SASR_{cell}^i}{SASR_{old}^i}$ 
    SASRoldi = SASRicell
    Send RM cell
    (MCRi, ACRi, PCRi, SASRicell, VRicell)
    RM_count = 0 /* clear counter */
    last_RM_time = current_time
  }
  else {
    Send data cell
    RM_count = RM_count + 1 /*
    increment count */
  }
}
if (backward RM cell received) {
  /* update rate */
  ACRi = max(MCRi, ERicell)
}

```

그림 1. 제안하는 기법에 의한 소스측 알고리즘
Fig. 1. The algorithm in source for the proposed method.

SASR 값과 VR 값을 RM 셀에 삽입하고 나머지 다른 필드의 값도 초기화를 한 뒤에 전송을 한다. 이 RM 셀은 경로를 거쳐 목적지까지 전달된 후 다시 소스로 돌아오면서 해당 소스에 대한 대역폭을 결정하여 RM 셀의 ER 필드에 기록된다. 소스는 역방향 (Backward) RM 셀을 받으면 ER 필드의 값으로 자신의 ACR 값을 변경하고 이에 맞추어 데이터 전송을 계속하게 된다.

2. 정방향 RM 셀에 대한 스위치측 알고리즘

소스 혹은 이전 스위치로부터 정방향 RM 셀을 받은 스위치는 각 소스에 대한 ER 값을 계산하여 RM 셀에 넣는 것이 아니라 단지 망 상태에 따른 각종 정보를 설정하는 작업만을 하고 다음 스위치나 목적지로 RM 셀을 전달한다. 즉 정방향 RM 셀에 대한 처리는 데이터 전송률과 변동률의 합 등을 구하여 역방향 RM 셀의 처리 시에 사용할 수 있도록 한다. 이처럼 ER 필드 값의 결정을 역방향 RM 셀의 처리 시에 하는 이유는 전송 지연 시간으로 인한 문제를 해결하기

위해서이다. 정방향 RM 셀의 처리시에 ER 값을 지정하게 되면 목적지까지 가서 다시 돌아오는 시간으로 인해 ER 값이 망 상태와 부합하지 않을 수 있다. 그러나 역방향 RM 셀을 처리하면서 ER 값을 설정하면 소스 측에 보다 최근의 망 상태 정보와 적절한 대역폭 값을 전달할 수 있게 된다. 정방향 RM 셀의 처리에는 각 소스의 데이터 전송률과 변동률에 대한 갱신을 위한 처리만을 하면 된다. 따라서 정방향 RM 셀 처리시의 계속적인 정보 갱신으로 인해 중간 스위치는 항상 최신의 소스 정보를 확인할 수 있게 된다. 또한 이 최신의 정보를 이용하여 역방향 RM 셀의 처리시에 ER 값을 결정하여 소스로 전달하면 최신의 상태에 따른 최적의 대역폭 할당을 이룰 수 있게 된다. 정방향 RM 셀이 도착하면 RM 셀에 기록된 SASR 값과 VR 값을 이용하여 해당 ABR 소스의 정보를 갱신하고 전체 ABR 연결의 SASR의 합과 VR의 합을 구한다. 그리고 다음 중간 스위치 혹은 목적지로 정방향 RM 셀을 전송한다.

```

/* 전체 ABR 소스의 SASR 총합을 구하고 연결 i의
SASR 값을 갱신 */
SASRtotal = SASRtotal - SASRisw + SASRicell

SASRisw = SASRicell
/* 전체 ABR 소스의 VR 총합을 구하고 연결 i의 VR 값을 갱신 */
VRtotal = VRtotal - VRisw + VRicell

VRisw = VRicell
/* 다음 스위치로 RM 셀 전달 */
Send Forward RM cell
(MCRi, ACRi, PCRi, SASRicell, VRicell)

```

그림 2. 정방향 RM 셀 처리시의 스위치측 알고리즘
Fig. 2. The algorithm in the switch for the forward RM cell.

3. 역방향 RM 셀에 대한 스위치측 알고리즘

정방향 RM 셀이 목적지까지 도달하면서 망의 상태 설정을 마치면 이제는 역방향 RM 셀을 소스까지 전달하여 소스의 데이터 전송률을 조절하는 작업이 필요하다. 처음 소스에서 PCR 값으로 설정된 ER 필드 값은 중간 스위치를 거쳐가면서 망 상태에 따라 변경된다. ER 값은 각 소스의 최신 SASR 값과 새롭게 추가 할당되는 대역폭의 합으로 이루어진다. 각 소스의 상태에 따라 대역폭을 할당하기 위해 본 논문에서는

데이터 전송량 변동율을 사용한다. 즉 이전 데이터 전송률과 최근 데이터 전송률의 비율을 사용하는데 이 값이 크면 소스의 데이터 전송량이 증가하고 있는 것으로 간주하여 더 많은 대역폭을 할당하며, 작으면 데이터 전송량이 감소하고 있는 것으로 간주하여 다소 적은 대역폭을 할당한다. 따라서 각 소스의 변화율인 VR 값이 전체 변화율의 합에서의 차지하는 비율을 계산하여 전체 가용 대역폭에 곱한 값을 소스의 가장 최근 SASR에 더하여 ER 필드에 넣게 된다.

$$ER = SASR_i + (C - SASR_{total}) \cdot \frac{VR_i}{VR_{total}} \quad (2)$$

여기서 C는 전체 가용 대역폭, SASR_{total}은 각 ABR 소스의 SASR의 합, VR_{total}은 각 ABR 소스의 VR의 합, SASR_i : i 번째 ABR 소스의 SASR, 및 VR_i는 i 번째 ABR 소스의 VR을 나타낸다.

```

/* ABR 연결 i에 대한 ER 값을 계산한다. */
ERi = SASRswi + (C - SASRtotal) *  $\frac{VR_{sw}^i}{VR_{total}}$ 
/* 역방향 RM 셀의 ER 값과 계산된 ER 값 중 작은 값을 택한다. */
ERcelli = min(ERcelli, ERi)
/* 다음 스위치나 소스로 역방향 RM 셀을 전달한다. */
Send Backward RM cell
( MCRi, ACRi, PCRi, SASRcelli, ERcelli )
    
```

그림 3. 역방향 RM 셀 처리시의 스위치측 알고리즘
Fig. 3. The algorithm in switch for the backward RM cell.

3. 시뮬레이션 및 성능 분석

이 장에서는 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 성능이 좋은지에 대한 분석과 평가를 위해 시뮬레이션 모델과 가정 및 인수 값을 설정하도록 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 얻은 결과 값을 제시하여 기존 방법과 성능을 비교, 분석하고 평가하도록 한다. 본 비교 평가에서는 제안한 방법과 제어 방식이 유사한 DRBCA와의 비교 평가만을 하고자 한다.

우선 시뮬레이션 모델은 그림4와 같다. 여러 개의 중간 스위치들이 일렬로 구성되었다고 가정하고 여기에 ABR 소스들이 임의의 위치에서 다른 임의의 위치로 데이터를 전송한다고 가정한다. VBR 소스는 첫 번째 스위치에서부터 마지막 스위치까지 거쳐 전송된다고 가정한다. CBR 및 UBR 트래픽은 성능 평가에

영향을 주지 않으므로 시뮬레이션 모델에서 제외한다.

소스에서 목적지를 잇는 모든 링크의 속도는 155Mbps로 정의하며, 각 스위치는 입력버퍼형이다. 각 링크의 길이는 100Km로 설정하며, RM 셀을 전송하는 간격인 Nrm은 32셀로 한다. 또한 ABR 소스는 총 5개로 하고 VBR 소스는 3개로 구성하며 각 ABR 소스는 동시에 셀을 발생시키는 것으로 간주한다. 각 소스의 특성은 표1에 나타낸다.

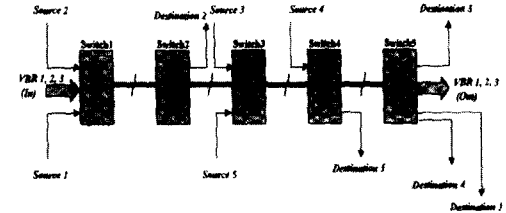


그림 4. 시뮬레이션 모델
Fig. 4. The simulation model.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 소스 트래픽의 전송률

Table 1. The transmission rates of traffics used in the simulation.

연결	트래픽 종류	트래픽 특성	MCR (Minimum Cell Rate)	MCR (Mean Cell Rate)	PCR (Peak Cell Rate)
1	ABR	Poisson 발생	5 Mbps	-	150 Mbps
2	ABR	Poisson 발생	10 Mbps	-	150 Mbps
3	ABR	Poisson 발생	10 Mbps	-	150 Mbps
4	ABR	Poisson 발생	20 Mbps	-	150 Mbps
5	ABR	Poisson 발생	30 Mbps	-	150 Mbps
6	VBR	On-Off Exp.	-	5 Mbps	150 Mbps
7	VBR	On-Off Exp.	-	10 Mbps	150 Mbps
8	VBR	On-Off Exp.	-	15 Mbps	150 Mbps

시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 소스의 상태에 따라 보다 적절하게 대응함을 볼 수 있다. 기존의 DRBCA 기법이 일률적인 대역폭 할당으로 인해 실제 소스의 데이터 발생량과는 다소 차이가 나는 대역폭 할당을 한다. 이에 반해 본 논문에서 제안하는 방법은 데이터 전송률 증감에 따른 대역폭 할당을 함으로 적절히 요구 대역폭을 예상하여

소스의 상태에 능동적으로 대처하고 실제 망 자원의 활용에서도 향상된 결과를 보여 준다.

시뮬레이션 결과를 그림 5에서부터 그림 8까지에 나타낸다. 그래프는 ABR 소스의 ACR 값과 실제 데이터 전송률인 SASR 값을 비교한다. 소스 1의 시뮬레이션 결과인 그림 5에서 제안한 알고리즘에 의한 소스의 ACR 값과 데이터 전송률을 비교하면 값이 거의 일치하는 것을 볼 수가 있다. 반면에 그림 6의 DRBCA에 의한 결과에서는 망에서 할당된 ACR 값과 실제 데이터 전송률 간의 차이가 큰 부분이 존재한다. 소스 4에 대한 결과인 그림 7과 그림 8의 결과에서 제안한 방법은 값이 거의 일치하는 데 반해 DRBCA에 의한 결과는 상당히 큰 차이를 보이고 있다. 이처럼 DRBCA의 결과가 특히 심한 차이를 보이는 이유는 MCR 값이 크게 설정되어 망으로부터 많은 대역폭을 할당받는데 비해 실제 발생하는 데이터가 적기 때문이다. 그러나 제안하는 방법은 각 소스의 실제 데이터 발생량에 따라 대역폭을 할당함으로써 이와 같은 문제가 발생하지 않는다. 다른 소스에서도 제안한 방법이 다소 우수한 결과를 보이고 있다.

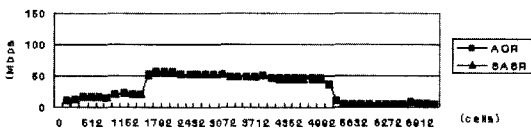


그림 5. 제안한 알고리즘에 의한 소스1의 결과
Fig. 5. The result of source 1 by the proposed algorithm.

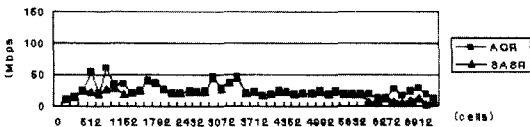


그림 6. DRBCA에 의한 소스1의 결과
Fig. 6. The result of source 1 by the DRBCA.

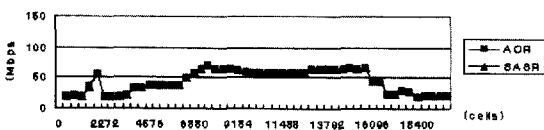


그림 7. 제안한 알고리즘에 의한 소스4의 결과
Fig. 7. The result of source 4 by the proposed algorithm.

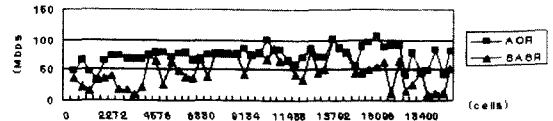


그림 8. DRBCA에 의한 소스4의 결과
Fig. 8. The result of source 4 by the DRBCA.

이러한 결과는 본 논문에서 제안하는 방법이 비교적 소스의 데이터 전송률을 제대로 예상하여 망의 낭비를 최소화하고 소스의 상태에 따른 적절한 대역폭 할당을 하고 있음을 나타낸다. 그러나 기존의 알고리즘은 필요 이상으로 대역폭을 할당하거나 데이터 발생이 증가할 때 적절히 대처하지 못하는 등의 문제점을 보이고 있다. 이와 같이 본 논문에서 제안하는 방법이 소스의 상태에 따른 적절한 조치를 신속하게 취하고 있음을 시뮬레이션 결과가 보여주고 있다. 전체 망 링크 효율에 있어서도 본 논문에서 제안하는 방법이 95% 정도이고 이전 알고리즘이 92% 정도으로써 다소 앞서는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 ATM 망에서 효율적으로 ABR 트래픽을 제어하기 위해 각 소스의 데이터 발생량의 변화율에 따라 상대적인 대역폭 할당을 하는 동적 폭주 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 각 소스의 데이터 발생량을 측정하여 값의 증감에 따라 대역폭을 할당한다. 즉 데이터 발생량이 증가한 소스에는 증가율에 비례하여 다른 소스에 비해 더 많은 대역폭을 할당하고 데이터 발생량이 감소한 소스에는 감소율에 비례하여 역시 다른 소스에 비해 더 적은 대역폭을 할당한다. 대역폭 할당은 각 소스의 데이터 전송률 값이 SASR에 추가 대역폭 값을 더하므로 SASR 값이 감소한 소스는 자연스럽게 할당되는 대역폭이 감소한다. 제안한 방법과 기존 방법에 대한 시뮬레이션을 통해 제안한 방법이 기존 방법에 비해 소스의 상태에 보다 적절하고 신속히 대응하는 한편 망 자원 활용에 있어서도 다소 나은 결과를 보인다. 소스에 대한 ACR 값의 할당이 소스의 데이터 전송률에 가깝도록 이루어짐으로써 망 자원의 낭비를 막으며 동시에 소스에 대한 공정한 대역폭 분배가 이루어지게 된다.

그러나 제안된 방법을 ATM 스위치에 구현하기 위해서는 회로의 복잡해지며 메모리 용량이 늘어나는 문제점이 있지만 구현하기에 어렵지 않을 것이다. 또한 ABR 트래픽이 사용할 수 있는 대역폭이 급격히 감소할 경우 자원을 가장 많이 사용하는 소스의 대역폭을 많이 회수하는 방안이 요구된다. 현재는 가용 대역폭이 현저히 작아지는 경우라도 전송률 변동양인 VR값이 크면 사용하는 대역폭에 관계없이 많은 대역폭을 할당받게 된다. 따라서 향후에는 보다 종합적인 상태 정보를 수집하여 소스의 상태에 따른 정확한 대역폭 할당을 통해 효율을 높이고, CI 비트를 혼용하는 등의 방법을 통한 공정성 보완에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Mischa Schwartz, *Broadband Integrated Networks*, pp.6-20, Prentice Hall, 1996.
- [2] Rainer Handel, Manfred N. Huber and Stefan Schroder, *ATM Networks*, pp.98-108, Addison-Wesley, 1994.
- [3] Y. T. Hou, N. Yin and S. S. Panwar, "Effective Frequency Range of Rate-Based Closed-Loop Congestion Control for ABR Service," *Proceedings of the IEEE ATM'96 Workshop*, San Francisco, Vol.1, Session SP1, Aug. 1996.
- [4] Roberto Beraldi, Salvatore Marano, "Selective BECN schemes for congestion control of ABR traffic in ATM LAN," *Proceeding of IEEE ICC'96*, Texas, pp.503-507, June 1996.
- [5] Nasir Ghani, and Jon W. Mark, "Dynamic Rate-Based Control Algorithm for ABR Service in ATM Networks," *Proceeding of IEEE Globecom'96*, London, pp.1074- 1079, November 1996.
- [6] C. Courcoubetis, V. A. Siris, G. D. Stamoulis, "Integration of Pricing and Flow Control for Available Bit Rate Services in ATM Networks," *Proceedings of IEEE Globecom'96*, London, pp.644-648, November 1996.
- [7] G. Bianchi, L. Fratta, Musumeci, "Congestion Control Algorithms for the ABR Service in ATM Networks," *Proceedings of IEEE Globecom'96*, London, pp.1080-1084, November 1996.
- [8] L. Roberts, "Enhanced PRCA (Proportional Rate Control Algorithm)," ATM Forum Contribution 94-0735R1, Aug. 1994.
- [9] Martin de Prycker, *Asynchronous Transfer Mode: Solution for B-ISDN*, pp.302-342, Prentice Hall, 1995.
- [10] S. Muddu, F. M. Chiussi, C. Tryfonas, V. P. Kumar, "Max-Min Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Networks," *Proceeding of IEEE ICC'96*, Texas, pp.412-418, June 1996.
- [11] ATM Forum, *Traffic Management Specification Ver. 4.0*, Feb. 1996.

 저 자 소 개

趙 誠 九(正會員)

1996년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사).
 1998년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1998년 3월 ~ 현재 (주)LG정보통신 연구원.
 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신

吳 閔 卓(正會員)

1992년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사).
 1994년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1994년 3월 ~ 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 재학중. 1996년 3월 ~ 현재 안산전문대학 전산정보처리과 전임강사. 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신

趙 成 賢(正會員)

1995년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사).
 1997년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1997년 3월 ~ 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신

朴 成 漢(正會員)

1970년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(B.S).
 1973년 8월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(M.S.). 1984년 5월 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(Ph. D.) 1974년 3월 ~ 1978년 8월 경북대학교 전자공학과 전임강사. 1984년 5월 ~ 1984년 8월 미국 텍사스 주립대학 Instructor. 1984년 8월 ~ 1986년 2월 금성사 중앙 연구소 수석연구원. 1989년 8월 1990년 7월 미국 텍사스 주립대학 Visiting Researcher. 1995년 3월 ~ 1997년 2월 한양대학교 공학대학 학장. 1986년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자계산학과 교수. 주관심분야는 B-ISDN, 멀티미디어 통신, 컴퓨터비전