

# ATM망에서 TCP 트래픽 전송을 위한 효율적 버퍼관리 기법

김남희<sup>†</sup>, 김변곤<sup>\*\*</sup>

## 요 약

ATM 망에서 GFR 서비스는 TCP/IP에 기초를 둔 비실시간 트래픽을 지원하기 위해 고안되었다. 또한, GFR 서비스는 프레임 레벨에서 최소 수율을 보장 할 뿐만 아니라 가용자원의 공평성을 보장한다. 본 논문에서는 GFR 서비스에서 비실시간 트래픽에 대한 효율적인 트래픽제어를 통하여 공평성과 수율을 향상시킬 수 있는 버퍼관리 기법을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 공평성과 goodput을 기존의 버퍼관리기법과 비교하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 기존의 기법보다 공평성과 goodput면에서 향상되었음을 확인 할 수 있었다.

## An Efficient Buffer Management Scheme for TCP Traffic Transmission in ATM Networks

NamHee Kim<sup>†</sup>, ByunGon Kim<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

The Guaranteed Frame Rate(GFR) service has been designed to accomodate non-real-time applications, such as TCP/IP based traffic in ATM networks. The GFR service not only guarantees a minimum throughput at the frame level, but also supports a fair share of available resources. In this paper, we propose a cell scheduling scheme which can improve the fairness and the goodput through the traffic control in GFR service. For the evaluation of the proposed scheme, we compare the proposed scheme with the existing scheme in the fairness and the goodput. Simulation results show that proposed scheme can improve the fairness and goodput comparing with the existing buffer management scheme.

**Key words:** TCP/IP, ATM(비동기전송방식), Fair Bandwidth Allocation(공평대역할당), GFR(보장프레임율)

## 1. 서 론

ATM망은 인터넷상에서 데이터 트래픽을 위한 ABR(Available Bit Rate)과 UBR(Unspecified Bit Rate)의 두 가지 서비스를 제공하여 왔으며, 이와 같은 서비스 외에도 ATM 포럼에서는 사용자에게 최

소 서비스를 보장과 대역폭의 공평한 할당을 위하여 GFR 서비스를 제안하였다. GFR 서비스는 UBR 서비스를 향상시키고, VC의 AAL5(ATM Adaptor Layer) 프레임에 대하여 최소 서비스를 보장할 수 있도록 한 서비스이다. 즉, GFR 서비스 제안의 가장 큰 이유는 각 VC(Virtual Channel)에 대한 최소 대역폭을 지원함과 동시에 UBR 서비스의 단순성을 유지하기 위해서이다[1,2].

GFR 서비스는 최대 패킷 크기를 초과하지 않는 최소 패킷레벨 보장을 위한 패킷 스트림을 지원한다. 또한 사용자에 의해 설정된 프레임의 우선순위 표시를 ATM 망에서 순응 검사 등을 통해 임의로 바꿀지

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김남희, 주소 : 전북 군산시 미룡동 산 68번지(573-701), 전화 : 063)469-4559, FAX : 063)469-4560, E-mail : nhkim@kunsan.ac.kr  
접수일 : 2004년 5월 28일, 완료일 : 2004년 8월 5일

<sup>†</sup> 정회원, 군산대학교 컴퓨터정보학과 조교수

<sup>\*\*</sup> 전북대학교 BK21 계약교수

(E-mail : togonee@kunsan.ac.kr)

의 여부에 따라 다시 GFR.1과 GFR.2로 구분된다. GFR.1의 경우 초과 전달된 프레임은 순응 검사에서 폐기하도록 하며, GFR.2의 경우 CLP(Cell Loss Probability) 비트를 1로 태깅하여 프레임의 우선순위를 낮출 수 있도록 하고 있다. GFR에서는 가용 대역폭에 대한 공평성 있는 대역할당을 지원해야 하기 때문에 버퍼관리를 통한 셀 폐기와 셀 스케줄링이 중요한 요소이다[4]. ATM 스위치에서 GFR을 구현하기 위해 제안된 메카니즘에는 Double-EPD, WFBA (Weighted Fair Buffer Allocation), DFBA(Differential Fair Buffer Allocation)등의 기법이 제안되었다. D-EPD방식의 경우 F-GCRA를 이용해 도착한 셀에 대한 순응 검사를 실시하여 태깅하고, 두 임계치를 갖는 EPD 방법을 FIFO 큐에 적용하는 기법으로[3] 셀이 FIFO 큐에서 전송될 때는 현재 버퍼에 저장된 셀의 수를 나타내는 QT를 1씩 감소시키게 된다. 이와 같이 태깅과 FIFO 큐를 이용하여 GFR을 구현하는 경우, 구현은 간단하지만 잉여 대역폭을 각 VC들에 공평히 분배할 수 없는 문제점이 나타난다. 또한 기존의 버퍼 관리 알고리즘은 TCP 트래픽의 "burstness" 특성으로 인해 CLP가 0인 AAL-5 PDU의 손실 없는 전송만으로는 GFR이 요구하는 최소 전송률 보장과 공평성을 제공하기 어렵다. 또한 연결된 VC의 지연 시간이나 패킷의 크기가 서로 다른 경우에도 최소 전송률 보장과 공평한 대역 할당을 못하는 단점이 있다[5,9-11]. 따라서 본 논문에서는 효율적인 버퍼관리를 하여 셀을 폐기함으로써 goodput과 공평성을 만족시킬 수 있는 버퍼관리 기법을 제안하였다. 제안된 버퍼관리 기법에서는 공평성과 goodput의 성능을 높이기 위해 CLP가 1인 tagged된 셀과 CLP 비트가 0인 untagged 셀에 대해서 각각의 동적 임계치와 공평대역 할당율을 제어함으로써 공평성과 goodput을 높일 수 있도록 하였다. 또한, EPD와 DFBA기법에서는 AAL5-PDU의 첫 셀이 버퍼에 진입하면 그 이후(subsequent) 셀들의 버퍼진입을 통한 완전한 패킷전송을 보장하기 위해서 버퍼의 총 크기보다 약간 작은 크기의 HBO라는 고정 임계치를 두어 이를 보장할 수 있도록 하였는데 제안된 알고리즘에서도 EPD나 DFBA와 마찬가지로 HBO (High Buffer Occupancy)라는 고정임계치를 설정하였으며, tagged 셀에 대한 폐기제어를 위해 LBO (Low Buffer Occupancy)라는 고정 임계치를 두었

다. GFR 서비스에서의 버퍼관리 알고리즘 핵심은 결국 tagged 셀과 untagged 셀의 폐기를 어떠한 방식으로 효율적으로 하느냐에 따라 달려있다. 이를 위해 제안된 기법에서는 tagged 셀과 untagged 셀의 효율적인 버퍼진입과 폐기를 위하여 버퍼에 점유되어 있는 tagged, untagged 셀의 점유비율을 기반으로 각 VC에 대해 동적 임계치를 할당할 수 있도록 하고, ATM 스위치내의 셀 도착율 요소를 추가시켜 최종적으로 셀의 폐기를 결정할 수 있도록 하였다. 그리고 제안된 버퍼제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Double-EPD와 DFBA 알고리즘에 대해 공평성과 goodput을 비교·분석하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 공평대역할당에 관련된 버퍼제어 관련 기법들에 대해 고찰하였으며, 제3장에서는 TCP 트래픽 평성 및 goodput을 향상시키기 위한 버퍼관리 알고리즘을 제안하였다. 그리고 4장에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 파라미터 등 시뮬레이션 환경 및 시뮬레이션을 통한 결과를 분석하고, 마지막으로 결론을 맺었다.

## 2. 공평대역할당에 관련된 버퍼제어 관련 기법들

GFR 서비스는 VC에 예약된 MCR(Minimum Cell Rate)을 보장하고 여분의 대역을 공평히 할당할 수 있어야 한다. GFR에서 버퍼 관리는 네트워크 대역을 효율적으로 사용하고 폭주상태를 해결하는 기능 뿐 아니라, 버퍼 관리에서 VC별 데이터 트래픽의 수용을 제어하여 VC에 할당된 MCR을 보장하고 공평성을 향상시키는 기능을 수행한다. UBR과 GFR에서 TCP 성능을 향상시키기 위해서 다음과 같은 기법들이 제안되었다[5-7].

### 2.1 Early Packet Discard(EPD)

EPD는 UBR 서비스를 통한 TCP의 효율성을 증가시키기 위해서 제안된 두 번째 기법이다. EPD에서는 스위치내의 버퍼는 임계값을 가진다. 버퍼에 대기하고 있는 셀 수가 임계값을 초과하면 버퍼는 폭주상태이며 셀 손실을 초래하게 된다. 일부 TCP 패킷은 사용불가능하므로 임계값에 도달하게 되면 EPD 기법은 버퍼공간이 있다면 이미 스위치에 들어온 패킷들의 셀만을 허용하고 스위치에 들어오지 못한 패킷

에 포함된 셀들은 폐기 시키게 된다. EPD를 구현하는 스위치는 무작위로 셀을 폐기하는 것이 아니라 패킷에 속한 모든 셀을 폐기한다. 패킷을 고려하지 않고 스위치가 무작위로 셀을 폐기한다면 많은 수의 패킷에 영향을 받게 되고 결국 많은 재전송이 일어나게 된다. 근본적으로 EPD 기법은 오류가 있는 패킷 내의 모든 셀 폐기하여 TCP 송신원으로부터의 재전송을 줄이게 된다.

### 2.2 Double-EPD

Double-EPD 방식은 태깅을 사용하는 FIFO 기반의 단순한 매카니즘으로 단일 버퍼를 두 개의 임계치 LBO와 HBO를 사용하여 논리적인 3가지 부분으로 나눈다. HBO는 기존의 EPD의 임계치와 같이 버퍼 내의 CLP = 0인 AAL5-PDU의 개수를 제한한다. LBO는 버퍼내의 CLP = 1인 AAL5-PDU의 양을 제한하는 데 사용한다. 버퍼의 셀 점유량이 낮은 임계치 LBO 이하이면 모든 셀은 수용되며 버퍼의 사용율과 네트워크의 goodput이 증가된다. 셀 점유량이 LBO 이상이 되고 HBO 이하이면, 새로 도착하는 태깅된 프레임은 폐기된다. 버퍼 점유량이 HBO 이상이면, 새로 도착하는 모든 프레임은 폐기되고 이미 수용된 프레임에 속한 셀만 받아들인다. 그림 1은 Double-EPD의 패킷 폐기 방식을 보여준다.

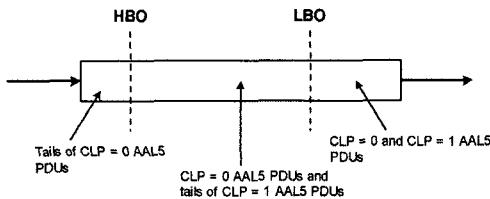


그림 1. Double-EPD의 패킷 폐기 알고리즘

### 2.3 DFBA(Differential Fair Buffer Allocation)

DFBA는 R.Goyal에 의해 ATM GFR 서비스를 위해 제안된 방식이다. 이 방식은 perVC-accounting 기반으로 다수의 TCP 연결로 다중화 된 VC에 대해서 MCR을 보장한다. Double-EPD 방식과 같은 두 개의 전역 임계치인 L과 H를 사용한다. 전체 버퍼 점유량 X가 L이상이 되면 CLP = 1인 프레임은 폐기되고 CLP = 0인 프레임은 해당 VC의 버퍼 점유율과

전체 버퍼 점유율 X에 따른 확률 값에 따라 폐기된다. 버퍼의 큐 길이 및 각 VC의 버퍼의 점유량에 따라 네 가지의 영역으로 나누어 서로 다른 셀 수용 판별을 적용하는 방식이다. FIFO 버퍼의 큐 길이 및 도착한 셀이 속한 VC의 큐 길이에 따라 DFBA 방식은 서로 다른 셀 수용 동작영역을 나타낸다. 프레임을 구성하는 첫 번째 셀이 도착했을 때 각 동작영역이 결정되며 그에 따라 셀 수용 여부를 가리는 방식이 달라지게 된다.

### 3. Goodput 및 공정성 향상을 위한 제안된 버퍼관리 기법

기존의 FIFO 버퍼를 이용한 셀 스케줄링 방식은 구현이 간단하고 QoS(Quality of Service)를 어느 정도 만족하나 TCP 트래픽의 "burstness" 특성으로 인해 CLP(Cell Loss Probability)가 0인 AAL-5 PDU(Protocol Data Unit)의 손실 없는 전송만으로는 GFR이 요구하는 최소 전송률 보장과 공정성을 제공하기 어렵다. 또한 연결된 VC의 지연 시간이나 패킷의 크기가 서로 다른 경우에도 최소 전송률 보장과 공평한 대역 할당을 못하는 단점이 있다[1,2,5]. 따라서 본 논문에서는 FIFO 기반의 구현이 간단하면서도 goodput을 높이고 특히, GFR 서비스에서 가장 중요한 요소인 VC의 공평한 대역 할당을 통한 공정성을 높일 수 있는 버퍼관리 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 버퍼관리기법은 수신측에서 서비스의 질을 보장받기 위해서 MCR을 보장받을 수 있도록 하고 나머지 대역에 대하여 각 VC들간의 대역을 공평히 분배하여 쓸수록 있도록 하였다. 각 VC들 간의 공평한 대역할당을 위해서 본 논문에서는 tagged셀과 untagged셀에 각각 동적임계치를 사용하고 도착율과 공평할당의 비율을 이용한 셀 폐기 방식을 적용하였다.

즉, 버퍼에 도착한 셀의 CLP 비트가 1인 tagged 셀에 대해서는 (1)의  $TL_i$ 라는 임계치를 설정하고, (3)과 (4)의 셀의 도착율과 공평할당율의 비율을 측정하여 (3)의 셀 도착율이 (4)의 공평할당율을 초과하고, 동적임계치를 넘어서면 폐기하고 그렇지 않은 경우에는 셀을 받아들여 서비스 받을 수 있도록 하였다. 그리고 버퍼에 도착한 셀이 CLP 비트가 0인 untagged 셀에 대해서도 tagged 셀의 폐기방식과 마찬가지로 (2)의 동적임계치를 설정하고, (3)과 (4)의

비율을 측정하여 동적임계치를 넘어서거나 셀의 도착율이 공평대역 할당율을 넘어서면 폐기하고 그렇지 않은 경우에는 버퍼로 진입시켜 서비스 받을 수 있도록 하였다. 이와 같은 메카니즘을 사용함으로써 tagged 셀과 untagged 셀이 각 VC에서 공평 대역할당을 최대한 만족시킬 수 있다. 또한, DFBA 방식에서는 tagged 셀에 대해서 무조건 LBO의 임계치까지는 셀을 받아들이도록 함으로서 tagged 셀에 대하여 LBO 이하에서는 공평성을 전혀 고려하지 않았으나 본 논문에서는 LBO 이하에서도 tagged cell에 대한 공평성을 고려할 수 있도록 하였다.

$$TL_i = \frac{MCR_i + (C_{GFR} - \sum_{i=1}^n MCR_i)}{W} \times \frac{(HBO - LBO)}{2} \quad (1)$$

$$TH_i = \frac{MCR_i}{\sum MCR} (HBO - LBO) + \frac{LBO}{N} \quad (2)$$

(1)과 (2)에서  $W$ 는 활성화된 VC의 총 대역율,  $MCR_i$ 는 각 VC의 최소 셀 율을 나타내고, HBO와 LBO는 ATM 스위치 출력버퍼에서의 임계값을 나타내고,  $C_{GFR}$ 은 VC의 총용량을 나타낸다. 그리고  $N$ 은 활성화된 VC의 총 개수이고,  $W_i$ 는 VCi의 가중치를 나타낸다.

그리고 (3)에서  $r_i$ 는  $i$ -번째 VC의 서비스 속도이고,  $t_k^k$ 는  $k$ 번째 AAL5-PDU의 크기이다.  $T_k^k$ 는 AAL5-PDU의 도착 간격으로  $T_k^k = t_k^k - t_{k-1}^k$  정의하고, 이 식에서  $K$ 는 상수로 일반적으로 300~500 msec로 설정하여 실제 서비스율에 근접한 측정치를 구할 수 있도록 하였다.  $\alpha$ 는 지수 가중치로 0에서 1사이의 값을 가지며,  $T_k^k$ 에 따라  $\alpha$ 가 변화하게 되고, ATM PDU의 첫 번째 셀이 도착할 때마다 측정이 이루어진다. 그리고 (4)의 공평대역 할당율은 ATM Forum에서 GFR 서비스를 위해 제시한 공평성 원칙 2에 기반한  $MCR+Equalshare$ 를 적용하여 (4)에 보여지듯이 MCR를 보장해주고 나머지 대역을 활성화된 VC의 개수인  $N$ 으로 나눈값으로 설정하였다.

$$r_i = (1 - \alpha) \frac{1}{T_i^k} + \alpha \cdot r_i \quad (3)$$

$$fair_i = MCR_i + \frac{C_{GFR} + \sum_j^{ActiveVC} MCR_j}{N} \quad (4)$$

제안된 공평성 대역할당을 위한 알고리즘이 그림 2에 나타나 있고 이에 대한 알고리즘 흐름에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

ATM 스위치에 프레임의 처음 셀이 진입하였을 때 그 셀이 우선순위가 낮은 CLP 비트가 1인 tagged 셀일 경우 현재 버퍼에 들어있는 전체 셀의 개수가 LBO보다 작고 VC에 있는 셀의 개수가  $TL_i$  보다 작고, 셀의 도착율이 공평대역 할당을 보다 작을 때는 받아들이고, PS(Packet State) 비트를 0으로 셋팅한다. PS 비트를 0으로 셋팅하는 이유는 패킷의 첫 번째 셀을 받아들였을 때 이후에 오는 첫 번째 셀이 속한 패킷의 완전한 전송을 보장하기 위해서이다. 그리고 그 외의 경우는 폐기시키고 PS 비트를 1로 셋팅시키는데 이는 앞서 기술한 바와 같이 패킷의 첫 번째 셀이 폐기되었으므로 이에 속하는 후속 셀들을 폐기하기 위해서이다. 이렇게 함으로서 DFBA에서 버퍼의 셀이 LBO보다 작을 때는 무조건 받아들이고 LBO를 넘으면 폐기함으로써 버퍼용량이 LBO의 임계치 이하에서 많은 시간을 보내게 되므로 높은 MCR을 요구하는 TCP 패킷들은 공평성의 저하를 가져와 QoS의 만족시킬 수 없다는 결점을 보완할 수 있도록 하였다.

ATM 스위치로 우선순위가 높은 CLP 비트가 0인 untagged 셀이 도착하였을 때는 현재 버퍼에 들어있는 전체 셀의 개수가 LBO보다 작을 때는 무조건 받아들인다. 그리고 버퍼에 있는 셀의 개수가 LBO보다 크고 HBO보다 작으면 버퍼에 들어있는 전체 셀의 개수가  $TH_i$  보다 작고 셀의 도착율이 공평대역 할당을 보다 작을 때는 받아들인다. 그리고 버퍼의 전체 셀의 개수가 HBO를 넘어서면 EPD를 적용할 수 있도록 하였다. 이와 같이 함으로서 각 VC에 있어서 공평성을 최대한 보장 할 수 있다. 셀이 프레임의 첫 번째가 아닌 subsequent 셀일 경우 PS가 0인 경우에는 첫 번째 셀이 진입한 경우이므로 받아들일 수 있도록 하고 PS가 1일 경우에는 첫 번째 셀이 폐기된 경우이므로 폐기할 수 있도록 함으로서 완전하지 않은 프레임에 대한 폐기를 보장할 수 있다. 본 논문의 알고리즘에 사용된 속성과 의미는 표 1과 같다.

```

when a cell from Vi arrives to the switch

if the cell is the first cell of a packet
  if (CLP bit of cell == 1) { /* the cell is tagged */
    if (X < LBO) and (Xi <= TLi) and ( ri <= fairi ) {
      then accept the cell;
      Xi++, X++;
      set PS[i]=0; } /* ensure the subsequent cell's acceptance */
    else { drop the cell;
           PS[i]=1; }
      }

  else (CLP bit of cell == 0) { /* the cell is untagged */
    if(X < LBO) {
      then accept the cell;
      PS[i]=0; /* ensure the subsequent cell's acceptance */
      Xi++, X++ }
    else if(LBO < X < HBO)
      if (Xi < THi) and ( ri <= fairi ) {
        accept the cell;
        PS[i]=0;
        Xi++, X++ }
      else {
        drop the cell;
        PS[i]=1; } /* ensure the subsequent cell's drop */
    else /* X > HBO */
      perform the EPD scheme
  }
}

if the cell is the subsequent cell of a packet

if (PS[i]=0 and X >0) {
  accept the cell;
  Xi++;
  X++; }
else {
  drop the cell;
  PS[i]=1;
}
    
```

그림 2. 제안된 공평대역 할당 알고리즘의 의사코드

표 1. 논문에 사용된 속성 및 의미

Attributes	Descriptions
$X$	the length of current buffer
$X_i$	the length of current buffer in V <sub>i</sub>
$LBO$	Low Buffer Occupancy
$HBO$	High Buffer Occupancy
$W_i$	the weight of V <sub>i</sub>
$W$	the sum of weight
$T_{Li}$	the threshold of V <sub>i</sub> for tagged cell
$T_{Hi}$	the threshold of V <sub>i</sub> for untagged cell
$r_i$	The arrival rate
$fair_i$	The fair share rate
$N$	Number of Active VC

## 4. 성능 평가

### 4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안된 알고리즘의 성능평가를 위한 시뮬레이션 프로그램은 C++로 작성되었으며, 시뮬레이션 환경은 그림 3처럼 2개의 ATM 스위치가 10개의 TCP 소스를 발생시키는 터미널에 연결되어 있는 구조로 구성되어 있다. 스위치의 각 출력 포트의 전송 속도는 155Mbps이고, 셀 전송시간은  $2.73\mu$  sec이다. 각 터미널의 TCP/IP는 RENO 버전이 사용되었으며 ATM 랜카드를 장착한 워크스테이션 또는 라우터가 ATM 스위치와 직접 연결된 peer-to-peer 모델로 연결된다.

그림 3의 왼쪽에 위치한 라우터는 송신원이고 오른쪽의 위치한 라우터는 수신원으로 한 쌍의 GFR VC로 연결이 된다. 라우터는 연결된 패킷을 다중화하여 송신원과 수신원은 CLP=0인 프레임만 전송한다. 전송된 프레임은 UNI의 F-GCRA 테스트를 통해 태깅이 수행된다. 네트워크의 각 링크는 OC-1인 51.84 Mbps이며 ATM 스위치간의 지연은 10 msec이고 소스와 스위치간의 지연은 0.5msec이다. TCP의 세그먼트 크기는 512바이트이고, 이는 AAL5 PDU의 568바이트에 해당된다. 최대 세그먼트 크기는 960바이트이다. 타임 슬라이딩 윈도우 값은 1000셀 타임 슬롯의 크기로 하였다.

4.2 성능평가 및 결과분석

TCP/IP 서비스에 대한 성능 평가기준은 TCP의 goodput과 공평성 지표(fairness index)이다. 이는 각 테이터의 낮은 폐기율을 유지하고, 또한 소스와 목적지사이에 설정된 다수의 VC들 사이에서 최소의 셀을 보장시켜주면서 나머지 대역에 대해 특정한 VC가 대역을 많이 점유함으로써 나머지 VC가 대역을 불공평하게 할당받아 나타날 수 있는 서비스 질의 저하를 방지함으로써 전체적인 TCP 서비스의 질을 높일 수 있기 때문이다. 본 논문에서 n개의 VC의 전체 대역에 대한 이상적인 대역 할당값을  $Z_i$ 로 표시하고 시뮬레이션에 의하여 측정된 대역 사용량을  $Y_i$ 로 표시한다면, 각 VC를 위한 정규화된 할당 값은  $X_i = \frac{Y_i}{Z_i}$ 로 계산 할 수 있고, 공평성 지표  $F(i)$ 는 (5)와

같다. 각 VC에 대한 할당 값인  $X_i$ 는 시간에 따라 변하기 때문에 공평성 지표는 0과 1 사이의 값으로서 불공평 지표  $D(i)$ 는 (5)와 같이 구할 수 있다[7,8].

- $n$  : 소스의 수
- $Z_i$  : 주어진 공평성 기준 조건에서 소스  $i$ 의 이상적인 수율
- $Y_i$  : 소스  $i$ 의 측정된 수율
- $X_i$  :  $Y_i / Z_i$
- $F(i)$  : 공평성 지표
- $D(i)$  : 불공평성 지표

$$F(i) = \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \tag{5}$$

$$D(i) = 1 - F(i) = 1 - \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \tag{6}$$

시뮬레이션을 통한 제안된 알고리즘을 평가하기 위하여 서술한 TCP의 goodput과 공평성 지표인 fairness에 대해 기존의 기법인 Double-EPD, DFBA와 제안된 기법에 대하여 각 VC에 대해 MCR을 같게 했을 때와 MCR을 다르게 했을 때에 대해 공평성 지표와 goodput을 비교·분석하였다.

그림 4과 그림 5는 각 VC의 MCR을 동등하게 했을 때와 각 VC의 MCR을 다르게 했을 때의 기존의 기법과 제안된 기법의 goodput과 fairness를 나타내고 있다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘에

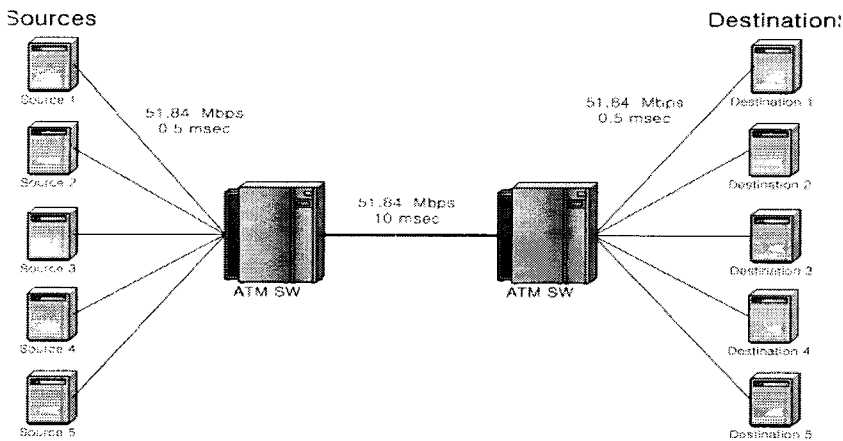


그림 3. 시뮬레이션 환경

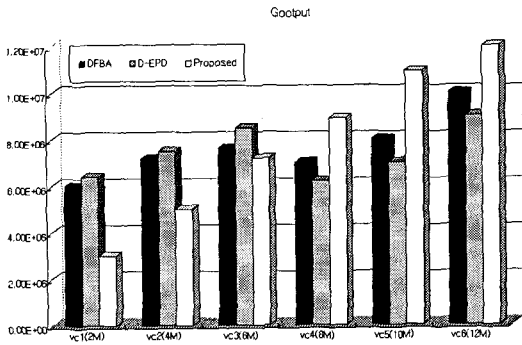


그림 4. TCP Goodput 비교(각 VC의 MCR이 다를 경우)

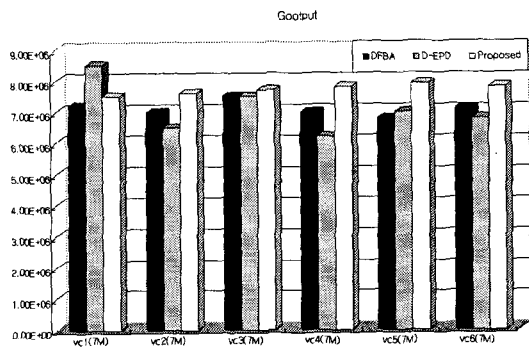


그림 5. TCP Goodput 비교(각 VC의 MCR이 같을 경우)

대해 goodput율과 공평성 지수에 대해 각각 비교·분석하였다. 그림 4와 표 2는 각 VC마다 다른 MCR을 적용했을 때의 goodput과 공평성지수를 비교한 것으로 출력버퍼는 8000셀로 설정하고 LBO는 2000셀, HBO는 6000셀으로 설정하였다. 그리고 MCR의 총합은 그림에서 보여지듯이 각 VC에 대해 순서대로 2, 4, 6, 8, 10, 12Mbps로 할당하여 총 42Mbps로 설정하였다.

여기에서 공평성지수는 1에 근접 할수록 각 VC의 대역할당이 공평성 있게 할당했음을 의미한다. 본 논문에서 사용된 공평성 지수는 ATM 포럼의 GFR 서비스를 위한 *MCR+Equalshare*를 사용하였다. 표 1에 보여지듯이 Double-EPD나 DFBA 방식에 비해 제안된 기법의 공평성 지수는 0.9877로 DFBA의 0.9367이나 Double-EPD의 0.8669에 비해 높게 나타

표 2. Fairness Index 비교

Performance	Double-EPD	DFBA	Proposed
Fairness index	0.8669	0.9367	0.9877

났음을 알 수 있는데 이는 tagged 셀과 untagged 셀에 대해 각 동적 임계치와 셀의 수를 이용한 제안된 기법이 MCR의 비율에 따른 대역할당의 분배제어가 효율적으로 되고 있음을 알 수 있다. 그리고 TCP의 goodput은 그림에서 보여지듯이 MCR의 할당값이 많을수록 높아지는데 이는 앞서 언급한 *MCR+Equalshare*의 대역을 차지하게 되고 이 값을 처리하기 때문이다. 제안된 기법의 전체 goodput율이 DFBA나 Double-EPD 기법에 비해 성능이 향상되었음을 보이고 있다. 제안된 기법의 경우 각 VC의 MCR이 증가할수록 goodput율이 비례해서 증가하는 반면 Double-EPD의 경우는 불안정한 특성을 보이고 있고 전체 goodput도 떨어짐을 알 수 있다.

그림 5와 표 3에서는 각 VC의 MCR을 7Mbps로 모두 같게 설정했을 때의 기존의 기법인 Double-EPD, DFBA 방식과 제안된 방식의 goodput과 공평성 지수를 측정된 그림이다. 그림에서 보여지듯이 각 VC마다 거의 같은 goodput율을 나타내고 있는데 이는 각 VC당 같은 7Mbps의 MCR을 적용했기 때문이다. DFBA나 제안된 기법의 경우 거의 같은 안정된 goodput율을 보이는 반면 Double-EPD 기법은 VC1에서 VC6까지의 전체적 goodput의 합은 다른 기법과 비슷하나 VC1에서는 높고 상대적으로 VC4의 경우는 낮게 매우 불안정한 특성을 보이고 있다. 이는 D-EPD의 경우 두개의 임계치중 LBO 이하에서는 무조건 tagged셀과 untagged셀을 받아들이고 LBO와 HBO사이에서는 tagged 셀만을 받아들이고 HBO가 넘어서면 EPD를 적용시킴으로서 각 가상큐의 가중치 및 셀 서비스를 등을 고려하지 않았고 또한, 패킷의 폐기가 태깅정보에만 의존하는데 반해 TCP 트래픽은 버스티한 특성으로 버퍼공간의 불공평한 할당으로 공평성이 낮아졌기 때문이다. 공평성 지수의 비교에서는 제안된 기법이 다른 기법에 비해 공평성이 나은 것으로 측정되었다.

표 3. Fairness Index 비교

Performance	Double-EPD	DFBA	Proposed
Fairness index	0.9354	0.9745	0.9998

## 5. 결 론

본 논문에서는 ATM 망에서 소스와 목적지 노드

간에 최소의 셀을 보장하면서 나머지 대역의 공평한 할당을 할 수 있도록 함으로서 특정 VC가 많은 대역을 점유함으로써 그에 따라 나머지 VC의 불공평 대역할당으로 인해 발생하는 TCP에서의 서비스 질 저하를 개선하기 위하여 효율적인 버퍼관리를 통하여 셀을 폐기하고 스케줄링함으로써 GFR 서비스에서의 goodput과 공평성을 만족시킬 수 있는 버퍼관리 기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 tagged 셀과 untagged 셀의 효율적인 버퍼진입과 폐기를 위하여 tagged, untagged 셀의 점유 비율 및 셀 도착율을 기반으로 각 VC에 대해 동적 임계치를 할당할 수 있도록 하고, ATM 스위치내의 셀 도착율 요소를 추가시켜 최종적으로 셀의 폐기를 결정할 수 있도록 함으로서 버퍼의 효율을 향상시켜 TCP 트래픽의 goodput 율과 공평성을 향상시킬 수 있었다.

그리고 본 제안한 알고리즘의 경우 기존의 기법에서는 임계값이 고정되어 있는데 반해 제안한 기법에서는 동적으로 임계치가 변할 수 있도록 하고 또한 fair share 등을 추가적으로 계산하기 때문에 알고리즘의 계산의 복잡도는 기존의 기법보다 약간 증가되었으나 현재 Gigabit ethernet, ATM 스위치 등의 패킷 또는 셀 중계 스위치의 속도가 매우 빨라지고 있다는 사실을 감안할 때 서비스의 질을 저하하는 요소로 크게 작용하지 않을 것으로 사료된다. 향후 과제로는 TCP 및 UDP 트래픽의 영향을 고려한 다양한 환경에서의 성능분석이 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] Rohit Goyal and Raj Jain "Design Issues for providing Minimum Rate Guarantees to the ATM Unspecified Bit Rate Service," *Proceedings of the IEEE ATM Workshop Proceedings*, pp. 169-175, 1998.

[2] Chia-Tai Chan, Yaw-chung Chen, and Pi-Chung Wang "An Efficient Traffic Control Approach for GFR Services in IP/ATM Internetworks," *IEEE GLOBECOM 98*, Vol. 2, pp. 1112-1117, 1998.

[3] Olivier Bonaventure and Jordi Nelissen "Guaranteed Frame Rate: A Better Service for

TCP/IP in ATM Networks," *IEEE Network*, Vol. 15, pp. 46-54, JAN.-Feb. 2001.

[4] O. Bonaventure. "Providing Bandwidth Guarantees to Internetwork Traffic in ATM Networks," *Proc. of IEEE ATM98 workshop*, May 1998.

[5] R. Goyal, R. Jain, S. Fahmy, and B. Vandalore, "Buffer Management for the GFR Service," *ATM Forum/98-0405*.

[6] S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification, Version 4.0," *ATM Forum Technical Committee*, Mar. 1996.

[7] J. Kenney, "Traffic management baseline text document. ATM Forum document BTD-TM-01.01," Apr. 1998.

[8] M. Hassan and M. Atiquzzaman, "Performance of TCP/IP over ATM networks," Artech House, 2000.

[9] Masayoshi Nabeshima, "Improving the performance of active buffer management with per-flow information," *IEEE communication letters*, Vol. 6, No.7, pp. 306-308, July 2002.

[10] Nan Ni and Laxmi N. Bhuyan, "Fair scheduling and buffer management in Internet routers," *Proc. of IEEE INFOCOM 2002*, June 2002.

[11] A. Lakshminantha, C. Beck, and R. Srikant, "Robustness of real and virtual queue based active queue management schemes," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, June 2003.



김 남 희

1992년 2월 군산대학교 정보통신공학과(공학사)  
 1994년 2월 전북대학교 전자공학과(공학석사)  
 1997년 8월 전북대학교 전자공학과(공학박사)  
 1998년 8월~2000년 8월 한국표준과학연구원 박사후연수원

2001년 3월~2002년 2월 전북대학교 BK21 계약교수  
 2002년 3월~현재 군산대학교 컴퓨터정보과학과 조교수  
 관심분야 : 컴퓨터네트워크, 트래픽제어, 이동통신





김 변 곤

1990년 2월 한국항공대학교 항  
공전자공학과(공학사)

1997년 2월 전북대학교 전자공  
학과(공학석사)

2001년 8월 전북대학교 전자공  
학과(공학박사)

2001년 9월~2002년 2월 한국표

준과학 연구원 Post-Doc

2002년 3월~2003년 현재 군산대학교 BK21 계약교수

2004년 1월~2005년 2월 전북대학교 BK21 계약교수

2005년 3월~현재 군산대학교 전자정보공학부 전임강사

관심분야 : 초고속 통신망, 광 버스트 네트워크, ATM  
트래픽 컨트롤