

# ATM-GFR 서비스에서 동적 임계치를 이용한 공평성 향상 알고리즘

김 남 희<sup>†</sup> · 김 변 곤<sup>††</sup>

## 요 약

ATM 망에서 ABR(Available Bit Rate) 서비스 이상으로 단순한 구현을 통해 대역폭 보장을 만족할 수 있는 다양한 GFR(Guaranteed Frame Rate) 구현의 성능에 대한 연구가 이루어지고 있다. GFR 서비스에 있어서 서비스 품질보장을 만족시키기 위한 중요한 요소 중의 하나는 버퍼관리이다. 즉 ATM 스위치에서 untagged된 셀에 대해 MCR(Minimum Cell Rate)을 보장하기 위해서는 효율적인 버퍼관리가 필요하다. 본 논문에서는 GFR 서비스 보장을 위한 버퍼관리 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하였다. 제안된 기법은 각 VC간의 공평성을 보장하기 위해 버퍼에서 셀 폐기를 제어 할 수 있도록 하였으며, 기존의 방식인 Double-EPD(Early Packet Discarding) 및 DFBA(Differential Fair Buffer Allocation) 기법과 비교하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 기존의 기법에 비해 goodput 및 공평성지표면에서 향상되었음을 확인하였다.

## A Fairness Improvement Algorithm using Dynamic Threshold in ATM-GFR Service

Nam-Hee Kim<sup>†</sup> · Byun-Gon Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

The performance of various GFR implementations has been recently studied due to the interest to provide bandwidth guarantees with a simpler implementation than ABR in ATM networks. One of the important factors is buffer management for guaranteeing QoS in GFR service. An efficient buffer management algorithm is necessary to guarantee MCR for untagged cell in ATM switch. In this paper, we propose and evaluate a buffer management scheme to provide the GFR service guarantees. The proposed scheme can control the cell discarding for fairness in each VC, and compared with Double-EPD and DFBA. Our results show that the proposed buffer management with per-VC queuing achieves significant enhancement on goodputs and fairness index than those of existing methods.

**키워드 :** 비동기전송방식(Asynchronous Transfer Mode), 버퍼관리(Buffer Management), GFR(Guaranteed Frame Rate)

### 1. 서 론

ATM망은 인터넷상에서 데이터 트래픽을 위한 ABR과 UBR(Unspecified Bit Rate)의 두 가지 서비스를 제공하여 왔으며, 이와 같은 서비스 외에도 ATM 포럼에서는 사용자에게 최소 서비스를 보장과 대역폭의 공평한 할당을 위하여 GFR 서비스를 제안하였다[1]. GFR 서비스는 UBR 서비스를 향상시키고, VC(Virtual Channel)의 AAL5(ATM Adaptor Layer) 프레임에 대하여 최소 서비스를 보장할 수 있도록 한 서비스이다. 즉, GFR 서비스 제안의 가장 큰 이유는 각 VC에 대한 최소 대역폭을 지원함과 동시에 UBR 서비스의 단순성을 유지하기 위해서이다. GFR 서비스는 최대 패킷 크기를 초과하지 않는 최소 패킷레벨 보장을 위한 패킷 스트림을 지원한다. 또한 사용자에 의해 설정된 프레

임의 우선순위 표시를 ATM 망에서 순응검사 등을 통해 임의로 바꿀지의 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. 그리고 각 VC에 대해 MCR을 보장하고 망에서 각 VC에 대역폭을 공평성 있게 할당하기 위해 ATM-GFR에서는 세 가지 기법을 통해서 MCR을 보장할 수 있다고 Goyal, Jain, Fahmy 등이 제안을 했다[1-2].

세 가지 기법은 policing, buffer management, scheduling이다. policing은 셀레벨에 있어서 보장을 프레임 레벨에서 보장할 수 있도록 맵핑시켜 주는 기능을 담당하고 셀을 순응시키기 위해 GCRA(Generic Cell Rate Algorithm)를 사용한다. 버퍼관리 기법은 각 VC에서의 버퍼점유를 관리하기 위해 사용된다. 그리고 스케줄링 기법은 프레임들이 어떠한 방식으로 다음 hop으로 스케줄링하는데 사용된다.

GFR에서는 가용 대역폭에 대한 공평성 있는 대역할당을

<sup>†</sup> 정 회 원 : 군산대학교 컴퓨터정보과학과 교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 군산대학교 BK21 교수

논문접수 : 2003년 2월 3일, 심사완료 : 2003년 5월 9일

지원해야 하기 때문에 버퍼관리를 통한 셀 폐기와 셀 스케줄링이 중요한 요소인데 그 중에서도 버퍼관리 기법은 MCR 보장과 공정성 있는 대역할당을 위해 중요한 요소이다.

ATM 스위치에서 GFR을 구현하기 위해 제안된 버퍼관리 기법에는 패킷분할 문제와 goodput을 향상시키기 위해서 EPD(Early Packet Discarding), PPD(Partial Packet Discarding)와 같은 패킷 폐기방식이 제안되었다[3]. 그러나 PPD의 경우 전체적인 수율은 어느 정도 향상시켰을지라도 goodput은 거의 향상되지 않았다. 또한 성능을 향상시키기 위하여 EPD가 제안되었다. PPD에 있어서 패킷의 셀들은 패킷의 하나의 셀이라도 폐기되면 패킷에 속한 전체 셀이 폐기된다. EPD는 스위치 버퍼의 이용을 결정하기 위해서 임계치가 사용된다. 전체적인 큐의 길이가 임계치를 넘어서면 다음에 진입하는 셀들은 큐의 길이가 임계치 아래로 떨어질 때 까지 폐기된다. EPD의 경우 PPD 방식보다 공정성 면에서 우월하고, 각 가상연결의 최소 대역폭을 보장하기 때문에 주로 EPD 방식이 사용되어져오고 있다.

Guerin과 Heinanan는 버퍼관리를 위한 두 가지 구현방식을 제안하였다. 하나는 per-VC Queuing과 per-VC accounting이고 다른 하나는 FIFO 큐잉과 per-VC policing을 사용한 기법이다. per-VC 큐잉과 FIFO 큐잉 기법을 이용해서 MCR을 보장하기는 어렵다. EPD가 각 VC에 대한 MCR을 보장하지 못하는 단점을 보완하기 위해서 R. goyal에 의해 DFBA 방식이 제안되었다. DFBA 방식은 High threshold, Low threshold 두 개의 임계치를 사용하여 tagged(CLP = 1) 패킷은 임계치가 L을 넘어서면 폐기하고, untagged(CLP = 0)된 셀에 대해서는 L과 H 사이에서는 확률함수를 이용해서 셀을 폐기하고 H를 넘어서면 EPD를 이용해서 폐기하는 방식이다. 그러나 DFBA는 수율이나 goodput면에서는 성능이 어느 정도 좋으나 충분한 공정성을 만족하지 못하는 단점이 있다[4].

따라서 본 논문에서는 효율적인 버퍼관리를 하여 셀을 폐기함으로써 수율과 공정성을 만족시킬 수 있는 버퍼관리 기법을 제안하였다. 제안된 버퍼관리 기법에서는 per-VC accounting 버퍼기법에서 공정성과 goodput의 성능을 높이기 위해 CLP가 1인 tagged된 셀에 대해서는 임계치와 각 VC에서의 tagged된 셀의 수를 제어하고 CLP 비트가 0인 untagged 셀에 대해서는 동적 임계치와 각 VC에서의 셀의 수를 제어함으로써 공정성과 goodput을 높일 수 있도록 하였다. 그리고 제안된 버퍼제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Double-EPD와 DFBA 알고리즘에 대해 공정성과 goodput을 비교·분석하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 GFR 서비스를 위한 버퍼관리에 대한 관련연구에 대해 기술하였고, 3장에서는 제안된 버퍼관리 알고리즘에 대해 기술하고, 4장에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 파라미터 등 시뮬레이션 환경 및 시뮬레이션을 통한 결과를 분석하고, 마지막으로 결론을 맺었다.

## 2. 관련 연구

현재 인터넷 트래픽의 체증을 해결하는 방법은 이미 발생한 체증에 반응하여 송신 호스트의 윈도우 크기를 통해 전송률을 조절하는 소스기반의 방법이 사용되고 있다. 하지만 이 방법은 이미 발생한 체증에 대하여 수동적으로 동작하고 모든 송신 호스트들이 거의 동시에 윈도우 크기를 줄이는 "slow start" 단계에 들어가게 하여 일시적으로 링크 사용율을 떨어뜨리는 "global synchronization"이 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 현재의 소스 기반의 체증 제어와 함께 망 중간 노드에서 버퍼를 관리하여 체증이 발생하기 전에 능동적으로 대처하는 방안이 필요하다. 이러한 목적으로 중간 노드의 버퍼 관리를 통한 체증 제어를 수행하는 방식으로 제안된 것으로 Double EPD, WFBA, DFBA 등이 있다.

### 2.1 Double-EPD

이 방식은 F-GCRA를 이용해 도착한 셀에 대한 순응 검사를 실시하여 태깅하고, 두 임계치를 갖는 EPD 방법을 FIFO 큐에 적용하도록 하는 것이다. 각 VC에 대한 구분이 없는 FIFO 큐를 사용하므로 협상된 서비스 품질을 보장하기 위해서는 품질 보장이 가능한 셀을 구분하기 위한 태깅이 반드시 필요하다. 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[3].

### 2.2 Weighted Fair Buffer Allocation(WFBA)

Weighted Fair Buffer Allocation(WFBA) 버퍼 관리 알고리즘은 ATM Forum에서 GFR 서비스 클래스가 연구되기 이전에 제안되었다[6, 7]. 그러나 WFBA는 ATM 스위치에서 GFR서비스를 제공하기 위해 사용될 수 있으며 per VC-accounting에 기초한 것으로 FIFO 기반 스위치에 적용될 수 있다. 버퍼의 사용 가능한 공간을 활성화한 VC에 각 VC의 가중치에 비례하여 할당한다. WFBA는 K, R의 두 개의 버퍼 임계치 변수를 가지며, K는 EPD 임계치와 같다. 버퍼점유율( $B_{occ}$ )가 R 임계치 이하이면, 스위치는 폭주 상태가 아니라고 판단하고, 각 VC의 이용율에 관계없이 도착하는 모든 AAL-5 PDU를 수용한다. 버퍼 점유율이 임계치 이상이면, 도착하는 AAL-5 PDU는 VC의 현재 버퍼 점유율과 가중치에 따라 수용되거나 폐기된다. 이를 위해 WFBA는 각 VC의 버퍼의 셀 수를 저장하며, 조정 파라미터  $Z(0 < Z < 1)$ 를 사용한다. WFBA는 GFR 트래픽 계약의 MBS(Maximum Burst Size) 파라미터를 지원하지 않으며, 낮은 MCR이나 MCR이 0인 GFR VC를 지원하기 위한 문제가 있으므로 GFR 서비스를 완전하게 지원하기 어렵다[4].

### 2.3 Differential Fair Buffer Allocation(DFBA)

DFBA는 R. Goyal에 의해 ATM GFR 서비스를 위해 제안된 방식이다. 이 방식은 perVC-accounting을 기반으로 다수의 TCP 연결을 다중화된 VC에 대해서 MCR을 보장한다. Double-EPD 방식과 같은 두 개의 전역 임계치인 L과 H를 사용한다. 전체 버퍼점유량 X가 L이상이면 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 점유율에 따라 네 가지의 영역으로 나누어 서로 다른 셀의 수용여부를 판별하는 방식이다.

FIFO 버퍼의 큐 길이 및 도착한 셀이 속한 VC의 큐 길이에 따른 DFBA 방식의 서로 다른 셀 수용 동작 영역에서 프레임의 폐기를 결정하며, 프레임을 구성하는 첫 번째 셀이 도착했을 때 각 동작 영역이 결정되고, 그에 따라 셀 수용 여부를 판별하는 방식이 달라지게 된다[4].

### 3. 제안된 공평성 향상 알고리즘

앞장의 관련연구에서와 같은 기존의 FIFO 버퍼를 이용한 버퍼관리 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 공평성을 제공하기 어렵다. 또한 연결된 VC의 지연 시간이나 패킷의 크기가 서로 다른 경우에도 최소 전송률 보장과 공평한 대역 할당을 못하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 FIFO 기반의 구현이 간단하면서도 수율을 높이고 특히, GFR 서비스에서 가장 중요한 요소인 VC의 공평한 대역 할당을 통한 공평성을 높일 수 있는 버퍼관리 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 버퍼관리 기법은 per-VC accounting 기법에 기초하고, tagged 셀과 untagged 셀에 대해 각 가상큐에서의 상태에 따라 셀의 폐기를 동적임계치 및 버퍼내의 셀수에 따라 효율적으로 제어함으로써 수신측에서 MCR을 보장받을 수 있도록 하고 나머지 대역에 대하여 각 VC들의 대역을 공평히 분배하여 쓸수록 있도록 하였다.

이를 위하여 셀의 CLP 비트가 1인 tagged 셀에 대해서는 TL이라는 동적 임계치를 설정하여 각 VC에 있는 셀의 개수가 임계치를 넘어서거나, 현재 각 VC에 들어있는 tagged 셀의 개수가 전체 tagged 셀의 개수를 활성상태에 있는 VC의 개수로 나누어 더 많을 경우에 폐기할 수 있도록 하였다. CLP 비트가 0인 untagged 셀에 대해서는 TH의 동적 임계치를 설정하여 각 VC에 있는 셀의 개수가 임계치를 넘어서거나 또는 각 VC에서 CLP 비트가 0인 untagged 셀의 숫자를 카운트 할 수 있는 변수  $Q_{CLP0}$  그리고 현재 버퍼에 들어있는 untagged 셀의 총 수를 나타내는  $Q_{CLP0}$ 의 두 변수를 이용하여 현재 untagged 셀의 개수에

각 VC의 가중치를 곱하여 VC의 untagged 셀의 개수가 가중치 이상으로 높을 경우 폐기함으로써 공평성을 높일 수 있도록 하였다.

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

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

$$w_i = MCR_i + \frac{C_{GFR} + \sum_j^{ActiveVC} MCR_j}{N} \quad (3)$$

DFBA 방식에서는 tagged 셀에 대해서 무조건 LBO의 임계치까지는 셀을 받아들일도록 함으로서 tagged 셀에 대하여 LBO 이하에서는 공평성을 전혀 고려하지 않았으나 본 논문에서는 앞서 설명했듯이 LBO 이하에서도 고려할 수 있도록 하였다. 식 (1), 식 (2), 식 (3)에서 W는 활성화된 VC의 총 대역을, MCR<sub>i</sub>는 각 VC의 최소 셀 율을 나타내고, C<sub>GFR</sub>은 VC의 총용량(Mbps)을 나타낸다. 그리고 X<sub>i</sub>는 현재 VC<sub>i</sub>에 있는 셀의 개수를 나타내고 N은 활성화된 VC의 개수이고, W<sub>i</sub>는 VC<sub>i</sub>의 가중치를 나타낸다.

제안된 (그림 1)의 알고리즘의 대한 흐름은 다음과 같다. ATM 스위치에 프레임의 처음 셀이 진입하였을 때 그 셀이 우선순위가 낮은 tagged 셀일 경우 현재 버퍼에 들어있는 전체 셀의 개수가 LBO보다 작고 VC에 있는 셀의 개수가 TL<sub>i</sub>보다 작을 때는 받아들인다. 그리고 전체 셀의 개수가 LBO보다 작고 VC에 있는 셀의 개수가 TL<sub>i</sub>보다 크고, tagged 셀의 개수가 전체 tagged 셀의 개수를 활성상태에 있는 VC의 개수로 나눈 값보다 클 경우에는 폐기하고, 전체 셀의 개수가 LBO를 넘어서면 무조건 폐기할 수 있도록 하였다. 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 때 현재 버퍼에 들어있는 전체 셀의 개수가 LBO보다 작을 때는 무조건 받아들인다. 그리고 버퍼에 있는 셀의 개수가 LBO보다 크고 HBO보다 작으면 버퍼에 들어있는 untagged 셀의 전체개수와 VC에 들어있는 untagged 셀의 개수를 조사하여 현재 VC에 들어있는 untagged 셀의 개수가 전체 untagged 셀의 개수에 가중치를 곱한 수 보다 적을 때는 받아들이고 그렇지 않은 경우에는 폐기할 수 있도록 하고, 전체 셀의 개수가 TH<sub>i</sub>보다 클 때는 폐기할 수 있도록 하였다. 이와 같이 함으로서 각 VC에 있어서 공평성을 최대한 보장 할 수 있다. 그리고 버

퍼의 셀 개수가 HBO를 넘어서면 EPD를 적용하여 폐기 할 수 있도록 하였다.

셀이 프레임의 첫 번째가 아닌 subsequent 셀일 경우 PS (Packet state)가 0인 경우에는 첫 번째 셀이 진입한 경우 이므로 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 1> 같다.

<표 1> 논문에 사용된 속성 및 의미

Attributes	Descriptions
$X$	the length of current buffer
$X_i$	the length of current buffer in VC $_i$
$LBO$	Low Buffer Occupancy
$HBO$	High Buffer Occupancy
$W_i$	the weight of VC $_i$
$W$	the sum of weight $w_i$
$TL_i$	the threshold of VC $_i$ for tagged cell
$TH_i$	the threshold of VC $_i$ for untagged cell
$Q_{CLP0}$	the number of CLP bit = 0 in queue
$Q_{iCLP0}$	the number of CLP bit = 0 in VC $_i$
$Q_{CLP1}$	the number of CLP bit = 1 in queue
$Q_{iCLP1}$	the number of CLP bit = 1 in VC $_i$
$N$	Number of Active VC

```

when a cell from VC $_i$  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 (X $_i$  <= TL $_i$ ) {
      then accept the cell ;
      X $_{i++}$ , X $_{++}$  ;
      set PS[i]=0; } /* ensure the subsequent cell's acceptance */
    else if (X < LBO) and (X $_i$  > TL $_i$ ) and (Q $_{CLP1}$  > Q $_{CLP1}/N$ )
      then drop the cell ;
      set PS[i] = 1; } /* ensure the subsequent cell's drop */
    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 */
    X $_{i++}$ , X $_{++}$  }
  else if (LBO < X < HBO)
    if (Q $_{CLP0}$  < Q $_{CLP0}$  × W $_i$ /W) and (X $_i$  < TH $_i$ ) {
      accept the cell ;
      PS[i] = 0;
      X $_{i++}$ , 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 ;
    X $_{i++}$  ;
    X $_{++}$  ;
  }
else {
  drop the cell ;
  PS[i] = 1;
}
    
```

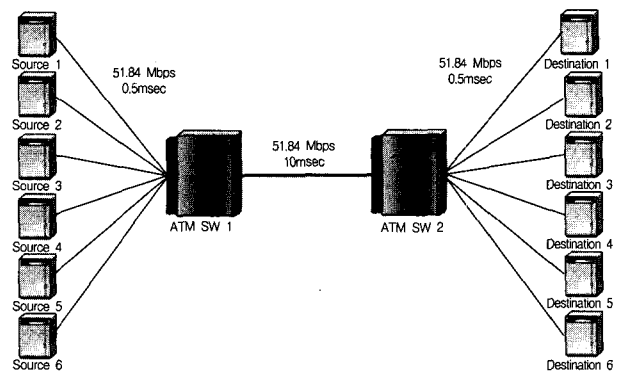
(그림 1) 제안된 알고리즘의 의사코드

4. 시뮬레이션 및 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

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

(그림 2)의 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 10msec이고 소스와 스위치간의 지연은 0.5msec이다. TCP의 세그먼트 크기는 512바이트이고, 이는 AAL5 PDU의 568바이트에 해당된다. 최대 세그먼트 크기는 960바이트이다. 타임 슬라이딩 윈도우 값은 1000 셀 타임 슬롯의 크기로 하였다.



(그림 2) 시뮬레이션 환경

4.2 성능평가 및 결과분석

TCP/IP 서비스에 대한 성능 평가기준은 TCP의 Goodput 과 공평성 지표(fairness index)이다. n개의 VC의 전체 대

역에 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 식 (4)와 같다. 각 VC에 대한 할당 값인  $X_i$ 는 시간에 따라 변하기 때문에 공평성 지표는 0과 1 사이의 값이므로서 불공평 지표  $D(i)$ 는 식 (5)와 같이 구할 수 있다[7-8].

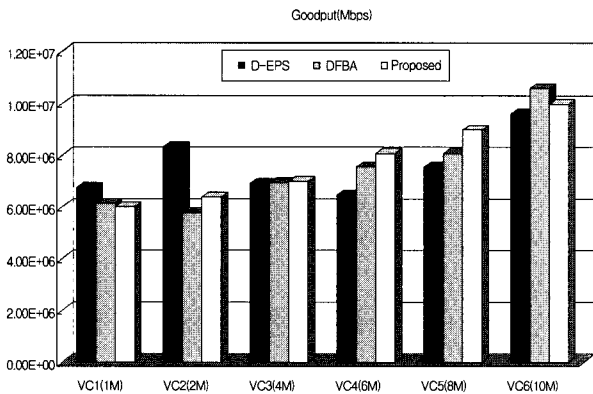
$$F(i) = \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \quad (4)$$

$$D(i) = 1 - F(i) = 1 - \frac{(\sum x_i)^2}{(n \times \sum x_i^2)} \quad (5)$$

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

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.

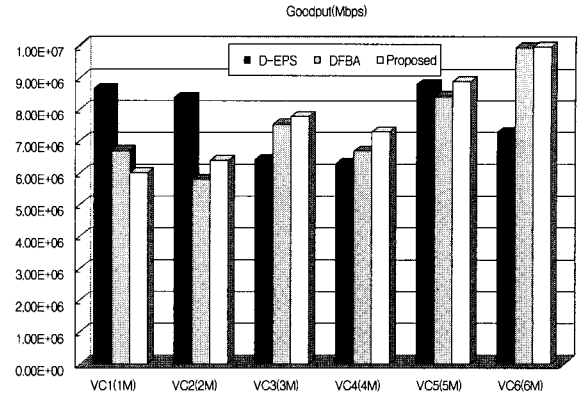
(그림 3)과 (그림 4)는 각 VC의 MCR의 합을 다르게 했을 때의 기존의 기법과 제안된 기법의 goodput과 fairness를 나타내고 있다.



(그림 3) TCP Goodput 비교(VC의 MCR이 다를 경우, MCR의 합 = 31Mbps)

<표 2> Fairness Index 비교

Performance	Double-EPD	DFBA	Proposed
Fairness index	0.8779	0.9468	0.9887



(그림 4) TCP Goodput 비교(VC의 MCR이 다를 경우, MCR의 합 = 21Mbps)

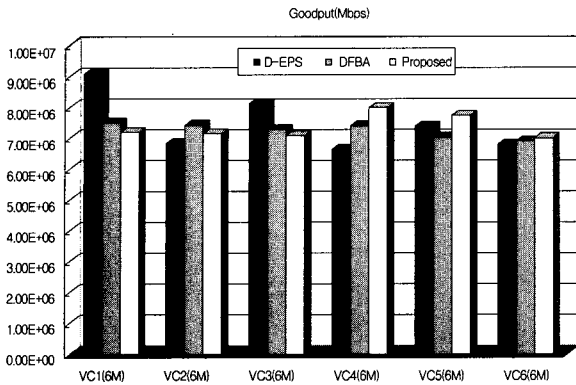
<표 3> Fairness Index 비교

Performance	Double-EPD	DFBA	Proposed
Fairness index	0.9208	0.9739	0.9802

(그림 3), (그림 4)와 <표 2>, <표 3>은 각 VC마다 다른 MCR을 적용했을 때의 goodput과 공평성지표를 비교한 것으로 출력버퍼는 8000셀로 설정하고 LBO는 2000셀, HBO는 6000셀로 설정하였다. 그리고 MCR의 총합은 (그림 3)은 각 VC에 대해 순서대로 1, 2, 4, 6, 8, 10Mbps로 총 31Mbps로 설정하고 (그림 4)에서는 1, 2, 3, 4, 5, 6Mbps로 할당하여 총 21Mbps로 설정하였다. 여기에서 공평성 지표는 1에 근접 할수록 각 VC의 대역할당이 공평성 있게 할당됨을 의미한다. 본 논문에서 사용된 공평성 지표는 ATM 포럼의 GFR 서비스를 위한 MCR + Equalshare를 사용하였다. <표 1>에 보여지듯이 Double-EPD나 DFBA 방식에 비해 제안된 기법의 공평성 지표는 0.9887로 DFBA의 0.9468이나 Double-EPD의 0.8779에 비해 높게 나타났음을 알 수 있는데 이는 tagged 셀과 untagged 셀에 대해 각 동적 임계치와 셀의 수를 이용한 제안된 기법이 MCR의 비율에 따른 대역할당의 공평분배제어가 효율적으로 되고 있음을 알 수 있다.

그리고 TCP의 goodput은 그림에서 보여지듯이 MCR의 할당값이 많을수록 높아지는데 이는 앞서 언급한 MCR + Equalshare의 대역을 차지하게 되고 이 값을 처리하기 때문이다. 제안된 기법의 전체 goodput율이 DFBA나 Double-EPD 기법에 비해 우수한 성능을 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 5)와 <표 4>에서는 각 VC의 MCR을 6Mbps로 모두 같게 설정했을 때의 기존의 기법인 Double-EPD, DFBA 방식과 제안된 방식의 goodput과 공평성 지표 및 goodput을 측정된 그림이다. 그림에서 보여지듯이 각 VC마다 거의 같은 goodput율을 나타내고 있는데 이는 각 VC당 같은 6Mbps의 MCR을 적용했기 때문이다. DFBA나 제안된 기법의



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

<표 4> Fairness Index 비교

Performance	Double-EPD	DFBA	Proposed
Fairness index	0.9866	0.9942	0.9962

경우 거의 같은 안정된 goodput을 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 두 개의 임계치중 LBO 이하에서는 무조건 tagged셀과 untagged셀을 받아들이고 LBO와 HBO 사이에서는 tagged 셀만을 받아들이고 HBO가 넘어서면 EPD를 적용시킴으로서 각 가상큐의 가중치 및 셀 서비스를 등을 고려하지 않았기 때문이다. 또한, 패킷의 폐기가 태깅 정보에만 의존하는데 반해 TCP 트래픽은 버스티한 특성으로 인한 버퍼공간의 불공평한 할당으로 공평성이 낮아졌기 때문이다. 공평성 지표의 비교에서는 제안된 기법이 다른 기법에 비해 공평성이 향상되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

GFR 서비스는 UBR 서비스를 향상시키고, VC의 AAL5 (ATM Adaptor Layer) 프레임에 대하여 최소 서비스율을 보장할 수 있도록 한 서비스이다. GFR에서는 가용 대역폭에 대한 공평성 있는 대역할당을 지원해야 하기 때문에 버퍼관리를 통한 셀 폐기와 셀 스케줄링이 중요한 요소인데 그 중에서도 버퍼관리 기법은 MCR 보장과 공평성있는 대역할당을 위해 중요한 요소이다.

본 논문에서는 GFR 서비스에서의 MCR을 보장하면서 공평하게 대역을 할당할 수 있을 수 있는 효율적인 버퍼관리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 동적 임계치 및 버퍼내에서 tagged와 untagged 셀의 수를 이용하여 MCR을 보장하고, goodput과 공평성을 향상시킬 수 있는 버퍼관리 알고리즘을 제안하였으며, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 공평성지표와 goodput을 기존의 기법과 비교 분석하였다. 성능 분석 결과 기존의 D-EPD, DFBA 방식보다 공평성을 더욱 향상시킬 수 있었고 good-

put면에서도 보다 높은 성능을 유지함을 확인할 수 있었다. 향후 과제로는 좀 더 다양한 망 환경에서의 시뮬레이션과 상위 계층의 TCP 방식에 따라 전체 성능이 달라지게 되므로 다양한 TCP 방식을 고려한 성능 분석이 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 BTM-TM-01.01," Apr., 1998.
- [8] M. Hassan, M. Atiqzaman, "Performance of TCP/IP over ATM networks," Artech House, 2000.



김 남 희

e-mail : nhkim@kunsan.ac.kr  
 1992년 군산대학교 정보통신공학과(공학사)  
 1994년 전북대학교 전자공학과(공학석사)  
 1997년 전북대학교 전자공학과(공학박사)  
 1998년~2000년 한국표준과학연구원 박사후 연수원

2001년~2002년 전북대학교 BK21 계약교수  
 2002년~현재 군산대학교 컴퓨터정보과학과 전임강사  
 관심분야 : ATM 트래픽제어, 광대역통신망



김 변 곤

e-mail : togonee@kunsan.ac.kr  
 1990년 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)  
 1997년 전북대학교 전자공학과(공학석사)  
 2001년 전북대학교 전자공학과(공학박사)  
 2001년~2002년 한국표준과학연구원 Post-Doc

2002년~현재 군산대학교 BK21 계약교수  
 관심분야 : 초고속 통신망, 광 버스트 네트워크, ATM 트래픽 컨트롤