

논문 2004-41TC-1-9

ATM 망에서 인터넷 트래픽 성능 향상을 위한 GFR 통합 버퍼 관리 기법

(An Integrated GFR Buffer Management Algorithm or improving Internet Traffic Performance over ATM Networks)

정 광 일*, 김 관 응*, 박 현 민*, 김 남 희**, 정 경 택***, 채 균 식*, 전 병 실****

(Kwang-Il Jeong, Kwan-Woong Kim, Hyun-min kwak, Nam-Hee Kim, Kyung-Taek Chung, Kyun-Shik Chae, and Byoung-Sil Chon)

요 약

GFR 서비스는 UBR의 단순성을 유지하면서 최소 전송을 보장, 잉여 대역의 공평한 할당 및 효율적인 링크 대역의 사용을 보장해야 한다. ATM에서 TCP 트래픽에 대응해서 만들어진 이러한 GFR 서비스 클래스의 효율적인 관리를 위해서는 ATM 스위치에서의 버퍼 관리가 필요하다. 제안된 버퍼 관리 알고리즘은 단일 FIFO에서 per-VC accounting 방식을 사용하며 GFR.1 및 GFR.2 모두를 수용할 수 있는 버퍼 관리 알고리즘이다. 제안된 알고리즘은 GFR.1 및 GFR.2를 차별적으로 다루기 위해서 CLP=0인 셀 수 및 CLP=1인 셀 수를 이용하여 버퍼 관리를 함으로써 GFR.1 VC들과 GFR.2 VC들에게 공평하게 잉여 대역을 할당하여 사용함을 볼 수 있었으며, 전체 공평성 관점에서도 기존 알고리즘보다 우수한 성능을 보여주었다.

Abstract

As a new service category to better support TCP traffic in ATM networks, the Guaranteed Frame Rate (GFR) service category aims to support minimum cell rate guarantee, fairly distribute available bandwidth while keeping the simplicity of Unspecified Bit Rate (UBR). In this paper, we proposed a buffer management scheme which uses the per-VC accounting of single FIFO queue and capable of supporting both GFR.1 and GFR.2 conformance definition. The proposed buffer management deal with GFR.1 and GFR.2 conformance definitions differentially by controlling the number of CLP=0 cell and CLP=1 cell which are occupying buffer space. The simulation results show that our proposed scheme satisfies the requirements of GFR services as well as improves total fairness index and each conformance definition fairness index.

Keywords: GFR, Fairness, Buffer management, TCP/IP.

I. 서 론

GFR 서비스는 현재 ATM Forum Traffic Management 4.1에서 ATM의 여섯 번째 서비스로 추가·확정되어졌다^[1]. GFR 서비스는 원래 UBR 서비스에 최소의 서비스 품질 보장을 해주기 위한 방식으로 UBR+라는 이름으로 제안되어 연구가 진행되었다. UBR 서비스는 "best-effort" 서비스이기 때문에 다른 서비스가 사용하고 남은 잉여 대역폭이 부족할 경우에 원하는 QoS를 얻기가 불가능하다.

UBR 서비스를 이용하는 TCP/IP 애플리케이션들이

* 정회원, 한국표준과학연구원
(Korea Research Institute of Standards and Science)
** 정회원, 군산대학교 컴퓨터 정보과학과
(Department of Computer Information Science, Kunsan Nat'l Univ.)
*** 정회원, 군산대학교 전자정보공학부
(Division of Electronic and Information Eng., Kunsan Nat'l Univ.)
**** 정회원, 전북대학교 정보통신연구소
(Institute of Information and Communication, Chonbuk Nat'l Univ.)
접수일자 : 2003년 8월 28일, 수정완료일 : 2003년 12월 24일

직면하는 이러한 성능 저하 문제를 극복하기 위해서 프레임 기반의 데이터를 ATM 망을 통해 비교적 용이하게 전송하기 위해서 도입되었으며, UBR의 단순성을 유지하면서 중단 시스템에 대한 서비스 기능 강화를 위한 것이다^[1,2].

UBR 서비스는 셀 기반의 "best effort" 트래픽을 지원하는 반면, GFR 서비스는 AAL5(ATM Adaptation Layer 5) 프레임 기반의 "best effort" 트래픽을 지원한다. 또한 GFR 서비스와 UBR 서비스와의 차이점은 GFR은 각 VC에 MCR(Minimum Cell Rate)을 할당하여 VC의 연결 기간 동안 최소 전송율을 보장하도록 한다. MCR을 초과하여 전달된 프레임에 대해서는 MCR만을 보장하며 초과된 트래픽에 대해서는 여분의 자원을 각 사용자에게 공평히 나누어 전송한다. 또한 프레임 단위의 서비스 품질 보장을 위해 같은 프레임에 속하는 모든 셀들의 CLP(Cell Loss Priority) 비트 값이 같도록 하여, 모두 같은 레벨의 서비스 품질을 보장받도록 하고 있다^[1].

각각의 VC에 최소 전송율 보장을 위해 GFR서비스를 망에서 구현하기 위한 요소로는 크게 세 가지 부분으로 나눌 수 있는데, 순응 검사를 수행하는 태깅 부분, 스위치의 버퍼 관리 부분, 스케줄링 부분으로 나눌 수 있다^[3].

ATM 망 사용자에 의해서 전송된 데이터인 ATM 셀은 각 셀 헤더에 CLP 비트가 존재하는데, CLP 비트 값에 따라서 망에 폭주가 일어나게 될 경우 또는 폭주가 임박한 경우에 선택적으로 셀을 폐기하도록 한다.

GFR 서비스에서 중단 시스템은 CLP=0과 CLP=1인 AAL5-PDU(Protocol Data Unit)를 모두 전송할 수 있다. CLP=1인 AAL5-PDU는 낮은 우선 순위를 가지며, 최소 전송율로 적용되지 않으므로 네트워크의 내부의 폭주 상황이 발생하면 해당하는 AAL5-PDU 전체를 우선적으로 폐기되도록 한다.

태깅은 GFR 연결 설정 시 협상한 파라미터의 준수 여부를 검사하는 부분으로 F-GCRA(Frame based Generic Cell Rate Algorithm) 알고리즘을 사용하여 순응 검사를 수행하며 UNI/NNI (User to Network Interface/Network to Network Interface)에서 구현된다. 중단 시스템의 사용자 또는 UNI에서 보내진 임의의 프레임이 F-GCRA 알고리즘을 통과하면서 부적합한 프레임에 대하여 태깅을 수행하게 되는데, 이때 부적합한 프레임이지만 태깅을 수행하지 않으면, 즉, CLP 비트를 변경하지 않으면 GFR.1이라 하고, 부적합한 프레임이라고 판별된

CLP=0인 프레임을 CLP=1의 프레임으로 변경하게 되면 GFR.2라고 한다^[1]. 따라서 상대적 중요도를 고려한다면 $GFR.1 < GFR.2$ 가 된다.

버퍼 관리는 네트워크 스위치의 버퍼에 프레임 저장을 제어하는 것으로 다양한 서비스의 셀 손실률을 보장하고 효율적으로 버퍼를 사용하기 위한 방법이다. 따라서 버퍼 관리는 스위치에 전송된 프레임을 저장할지 폐기할지를 결정하여 폭주상황에서 태깅된 셀은 우선적으로 폐기된다.

버퍼 관리는 버퍼 구현방식과 패킷 폐기방식으로 이루어지며, 버퍼 구현방식은 모든 연결이 버퍼를 공유하여 사용하는 공유 버퍼방식과 연결 당 가상의 큐를 제공하는 perVC-Queuing 방식으로 나눌 수 있다.

여기에서 공유 버퍼방식은 다시 패킷의 태깅 정보와 전역 임계값을 사용하는 FIFO based with tagging 기법과 각 VC에 임계값을 제공하고 VC의 버퍼 점유율을 제어하여 대역을 할당하는 per-VC accounting 방식으로 나눌 수 있다.

스케줄링은 연결된 VC들에 저장된 셀의 전송 순서를 결정하여 순서에 따라 셀을 전송하는 것으로 WRR (Weighted Round Robin)방식과 WFQ(Weight Fair Queuing)방식이 있다. 본 논문에서는 FIFO 버퍼를 이용한 per-VC accounting 방식을 사용하므로 스케줄링 알고리즘을 사용하지 않는다.

기존의 버퍼 관리 기법에서는 CLP=1인 AAL5-PDU(Protocol Data Unit)는 이미 협상된 트래픽 계약을 위반한 것으로 간주한다. F-GCRA에 의해서 적합한 프레임으로 판정된 CLP=0인 프레임은 버퍼 관리 기법에서 CLP=1인 셀보다 우선적으로 받아들여지고, 버퍼 관리 기법에서 폭주에 의한 임의의 셀을 폐기할 경우에는 CLP=1인 셀보다 덜 폐기되어진다.

그러나 FIFO 버퍼를 사용하는 double-EPD(Early Packet Discard)와 FIFO 버퍼에서 per-VC accounting방식을 이용한 DFBA(Differential Fair Buffer Allocation), per-VC Queuing 등과 같은 기존의 버퍼 관리 기법에서는 GFR.2 분류에 속하는 프레임을 고려하여 버퍼 관리를 수행하는 알고리즘으로서 GFR.1 분류에 속하는 프레임을 처리할 경우에도 GFR.2와 동일하게 처리됨으로써 상대적 중요도를 고려하지 않는다^[5,6].

즉, double-EPD, DFBA의 경우 셀이 폐기되는 최초의 임계값 LBO를 초과할 때부터 셀 폐기가 시작된다^[4]. LBO 이하일 경우에는 CLP=0인 셀과 CLP=1인 셀 모두

를 받아들이게 된다. 따라서 LBO 이하일 경우 일부 VC가 할당된 버퍼 공간 보다 많은 셀을 버퍼에 받아들이게 되고 이에 따라 VC간의 공평성이 저하되는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 GFR에서 GFR.1과 GFR.2를 단일 FIFO 버퍼에서 모두 수용할 수 있는 알고리즘을 제안한다. DFBA와 마찬가지로 FIFO 버퍼에서 per-VC accounting방식을 이용하여 VC의 MCR 보장과 네트워크 수율을 향상하고 GFR.1.VC들과 GFR.2 VC들 간의 공평성을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

II. 기존의 GFR 버퍼관리 알고리즘

2.1 Double-EPD

Double-EPD 방식은 태깅을 사용하는 FIFO 기반의 단순한 메커니즘으로 단일 버퍼를 두 개의 임계값 LBO와 HBO를 사용하여 논리적인 세 부분으로 나눈다^[4,5].

HBO는 기존의 EPD의 임계값과 같이 버퍼내의 CLP = 0인 AAL5-PDU의 개수를 제한한다. LBO는 버퍼내의 CLP = 1인 AAL5-PDU의 양을 제한하는 데 사용한다. 버퍼의 셀 점유량이 낮은 임계값 LBO 이하이면 모든 셀은 수용되며 버퍼의 사용율과 네트워크의 수율이 증가된다.

셀 점유량이 LBO 이상이 되고 HBO 이하이면 새로 도착하는 태깅된 패킷은 폐기된다. 버퍼 점유량이 HBO 이상이면 새로 도착하는 모든 패킷은 폐기되고 이미 수용된 패킷에 속한 셀만 받아들인다. 그림 1은 double-EPD의 패킷 폐기 방식을 보여준다. Double-EPD는 per-VC accounting 방식이나 per-VC thresholding 방식을 사용하지 않으며, MCR을 보장하지 않을 뿐만 아니라 각 VC들에게 대역을 공평하게 할당하지도 않는 방식이다.

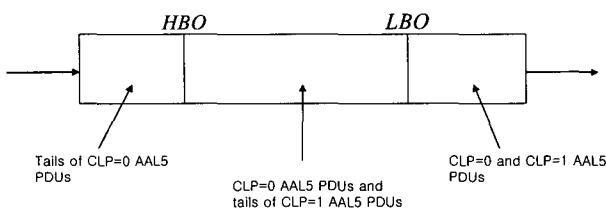


그림 1. Double-EPD의 패킷 폐기 알고리즘
Fig. 1. Packet dropping policy of double-EPD.

2.2 Differential Fair Buffer Allocation(DFBA)

DFBA는 R. Goyal에 의해 ATM GFR 서비스를 위해 제안된 방식이다^[6]. DFBA 알고리즘은 두개의 고정임계값 (LBO 및 HBO)와 perVC 동적 임계값은 $X \times W_i / W$ 등 세 개의 임계값을 사용하여 버퍼를 관리한다. DFBA 알고리즘은 고정 임계값만을 갖는 경우 자신에게 설정된 임계값을 초과하면 현재 버퍼의 상태에 관계없이 무조건 폐기되는 문제점을 개선하여 자신의 공평 버퍼 점유율보다 더 많이 버퍼를 점유하고 있다고 하더라도 현재 버퍼 용량이 여유가 있다면 셀을 받아들일도록 하여 수율을 향상시킬 수 있다. 이는 현재의 버퍼에서 각 VC별로 버퍼를 점유한 정보를 관리함으로써 가능하게 되었으며 perVC 동적 임계값을 사용하여 특정 VC가 공평 버퍼 점유율을 초과하지 않는 경우에도 이미 다른 VC들이 버퍼를 과다하게 점유한 이유로 서비스를 받지 못하는 불공평성도 개선하였다. 또한 $LBO < X < HBO$ 인 경우에 공평 버퍼점유율을 초과하여 VC로 들어오는 셀에 대해서는 해당 셀이 태깅되지 않았어도 식 (1)과 같이 확률적 방법으로 셀을 폐기하도록 하여 공평성 향상을 꾀하고 있다. 다음은 DFBA에서 각 GFR VC에 버퍼 공간을 공평하게 할당하기 위한 변수들이다.

- X : 버퍼에 대기하고 있는 전체 셀 수

$$(X = \sum X_i)$$

- L : 낮은 버퍼 임계값
- H : 높은 버퍼 임계값
- MCR_i : 연결 i의 MCR
- W_i : 연결 i의 가중치(MCR_i / GFR 대역폭)
- $W = \sum W_i$
- X_i : 각 연결당 버퍼 점유량
- Z_i : VC별 파라미터

확률 함수는 식 (1)과 같이 계산하며, MCR에 따른 VC별 공평성을 향상시키고, 버퍼 효율성을 개선하기 위한 부분으로 나타난다.

$$P\{drop\} = Z_i \left(\alpha \frac{X_i - X \times W_i / W}{X(1 - W_i / W)} + (1 - \alpha) \frac{X - L}{H - L} \right) \quad (10)$$

Double-EPD 방식과 같은 두 개의 전역 임계값인 L과 H를 사용한다. 전체 버퍼 점유량 X가 L이상이 되면

CLP = 1인 프레임은 폐기되고 CLP = 0인 프레임은 해당 VC의 버퍼 점유율과 전체 버퍼 점유율 X 에 따른 확률 값에 따라 폐기된다.

DFBA는 이전에 제안된 GFR 구현 방식과 많은 면에서 다른 특징을 보여준다. VC의 MCR에 따라 버퍼 공간을 할당하고 CLP=0인 AAL5-PDU를 확률에 따라 폐기하여 double-EPD에 비해 공평성이 향상되고 VC의 MCR을 보장할 수 있다. 그러나 GFR.1 VC와 GFR.2 VC를 동시에 수용할 경우 상대적 중요도를 고려하지 않고 버퍼관리를 수행함으로써 공평성이 저하되는 단점을 가지고 있다.

III. 제안된 버퍼관리 알고리즘

ATM GFR 스위치의 버퍼 관리 알고리즘은 네트워크의 수용을 높이고 VC에 할당된 MCR를 보장하며 잉여 대역을 공평하게 VC에 할당하여 공평성을 제공하여야 한다. 또한 현재 대부분의 ATM 스위치들이 구현 복잡성을 낮추고 저비용으로 GFR을 지원하기 위해 FIFO 버퍼 구조를 채택하고 있으며, 잉여 대역을 공평하게 할당하고 최소 전송율을 보장할 수 있는 좀 더 정교한 FIFO 기반 버퍼관리 알고리즘이 필요하다. 현재까지 나온 버퍼관리 알고리즘은 공통적으로 GFR.2 대상의 버퍼관리 알고리즘으로서 GFR.1과 GFR.2 두 가지를 모두 수용으로 하는 알고리즘은 없는 것으로 조사되었다.

본 논문에서는 단일 FIFO 버퍼에서 per-VC accounting 방식을 이용하여 지능적으로 FIFO 버퍼를 관리하도록 하며, CLP=0 셀 수 및 CLP=1 셀 수를 고려하여 GFR.1과 GFR.2를 모두 수용하는 알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘은 먼저 MCR과 MCR에 비례하여 잉여 대역폭을 할당(allocation proportional to MCR)하여 가중치를 계산하고, 전역 임계값으로서 LBO 및 GFR.1 VC들을 위한 HBO₁과 GFR.2 VC들을 위한 HBO를 설정하여 패킷 폐기 여부를 결정하는 과정으로 이루어진다. 여기에 네트워크 QoS를 엄격히 따르지 않는 GFR.1 VC의 CLP=0인 셀 수 및 네트워크의 QoS를 엄격히 따르는 GFR.2 VC의 CLP=0 및 CLP=1의 셀 수를 이용하여 동적인 임계값을 계산하였다. 이렇게 함으로써 전역 버퍼에서 들어오는 GFR.1 VC와 GFR.2 VC에 의한 CLP=0인 셀들 중 GFR.1 VC에 해당하는 셀들이 GFR.2 VC에 의

한 CLP=0인 셀들에 비해서 상대적 중요도가 떨어지는데도 동일하게 처리되는 것을 고려하여 처리할 수 있다.

동적 임계값을 사용하여 버퍼를 공유하는 VC의 버퍼 점유율을 조절함으로써 네트워크 효율을 향상시킬 수 있고, 하나의 공유 버퍼에서 서비스를 제공할 경우에도 GFR.1 VC들과 GFR.2 VC들 간의 공평성을 향상시킬 수 있다.

3.1 가중치 계산

제안된 버퍼 관리 알고리즘의 첫 번째 단계인 가중치 할당은 먼저 연결된 각 VC에 대하여 MCR 및 MCR에 비례하여 사용하지 않은 GFR 잉여 대역을 할당하여 가중치를 계산한다. 여기에서 가중치 w_i 는 i -번째 GFR VC의 가중치로서 GFR VC에 할당된 대역과 같으며 식 (2)와 같이 계산한다.

$$w_i = MCR_i + \left(C_{GFR} - \sum MCR_i \right) \times \frac{MCR_i}{\sum MCR_i} \quad (2)$$

여기에서 MCR_i 는 i -번째 VC의 MCR이며, C_{GFR} 은 출력 버퍼에서 GFR에 할당된 대역을 나타낸다.

3.2 제안된 패킷 폐기 정책

GFR.1의 전역 버퍼 임계값으로서 HBO₁과 GFR.2의 전역 버퍼 임계값으로서 HBO를 설정하고, 공통된 전역 버퍼 임계값으로서 LBO를 설정하여 GFR.1 및 GFR.2를 차등적으로 관리하도록 하였다.

먼저 GFR.2 임계값 HBO와 LBO를 설정하고 GFR.1에 해당하는 임계값 HBO₁은 아래의 식을 만족하도록 한다.

$$HBO_1 = \min \left(HBO - \sum_i MFS_i, \max \left(LBO + \frac{N_{CLP=0, GFR.1}}{N_{CLP=0}} \times (HBO - LBO), \frac{HBO + LBO}{2} \right) \right) \quad (3)$$

즉, HBO₁ 임계값은 $(LBO + HBO) / 2$ 의 값과 $HBO - \sum_i MFS_i$ 의 범위에서 설정되며, 패킷 폐기가 처음 발생하게 되는 임계값인 LBO와 HBO와 LBO 구간 사이에 쌓인 GFR.1의 CLP=0인 셀 수를 더한 값으로 HBO₁ 값을 할당한다. 여기에서 상한값 $HBO - \sum_i MFS_i$ 는 모든 VC에 한 개의 패킷을 수용할 수 있을 만큼의 공간을 남겨두기 위해 설정한 값으로서 GFR.1에 의해서 HBO 임계값을 넘지 않도록 하기 위함이다. 또한 하한값

(LBO+HBO)/2는 전체 버퍼 공간에서 CLP=0인 셀 수에서 GFR.1의 CLP=0인 셀 수와 GFR.2의 CLP=0인 셀 수가 같게 되는 경우, 즉 $N_{CLP=0,GFR1} / N_{CLP=0}$ 의 값이 1/2으로 될 경우를 하한값으로 설정한 것이다.

그림 2는 제안한 알고리즘에서 사용할 전역 버퍼에서의 LBO, HBO₁, HBO의 범위를 보여준다.

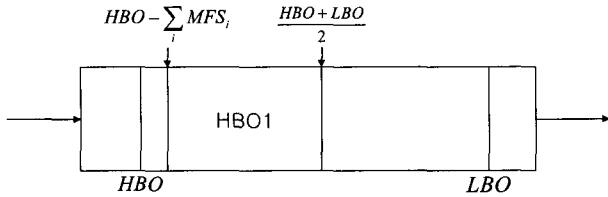


그림 2. FIFO 버퍼에서 전역 임계값 HBO1 설정
Fig. 2. HBO1 threshold setup in FIFO buffer

이와 같이 전역 버퍼에 임계값을 할당하고, 각 VC에 동적 임계값을 할당하여 임의의 한 VC가 불공평하게 대역을 사용하지 못하도록 방지할 수 있다. 또한 VC_{fair}^i 는 전체 버퍼공간에서 가중치에 따라서 할당받은 공간을 나타내는 것으로서 VC들이 버퍼 공간을 공평하게 받아 사용하는지의 여부를 VC_{fair}^i 값에 의해서 알아볼 수 있다.

즉, 아래의 식들과 같이 각 VC의 동적 임계값 Th_i 및 VC_{fair}^i 를 설정하여 사용한다. GFR.1인 경우는 식 (4)와 같으며 GFR.2인 경우는 식(5)와 같이 전역 버퍼내의 CLP=1인 셀 수를 현재 전체 VC의 수로 나눈 값을 더해 주었다. 이는 원래 CLP=0이었던 셀이 CLP=1로 태깅된 것을 고려하여 GFR.2 VC가 GFR.1에 비해 상대적으로 많이 폐기되는 것을 방지하기 위함이다.

$$Th_i = \frac{w_i}{C_{GFR}} (N_{CLP0,GFR1}) \quad (4)$$

$$Th_i = \frac{w_i}{C_{GFR}} (N_{CLP0,GFR2}) + \frac{N_{CLP1}}{N} \quad (5)$$

$$VC_{fair}^i = \frac{w_i}{C_{GFR}} \times QT \quad (6)$$

식 (4)와 식 (5)에서 전역 버퍼에서 CLP=0인 셀 수와 CLP=1인 셀 수를 이용하여 동적 임계값을 계산하였다. 이는 전역 버퍼에서 들어오는 GFR.1 VC와 GFR.2 VC에 의한 CLP=0인 셀들 중 GFR.1 VC에 해당하는 셀들이

GFR.2 VC에 의한 CLP=0인 셀들에 비해서 상대적 중요도가 떨어지는데도 동일하게 처리되는 것을 고려하여 CLP=0인 셀 수와 F-GCRA에 의해서 태깅 되어진 CLP=1인 GFR.2 셀 수에 관점을 두고 동적 임계값을 계산하도록 하였다.

위에서 설명한 전역 임계값 LBO, HBO₁, HBO 등과 각 VC의 동적인 임계값 Th_i 및 VC_{fair}^i 를 사용하여 패킷 폐기 여부를 결정하는 과정을 다음과 같이 정리할 수 있다.

■ GFR.1인 경우

경우 1) $QT < LBO$

버퍼의 셀 점유율이 LBO 미만일 때 CLP=0 및 CLP=1 여부에 관계없이 새로 도착하는 모든 패킷은 수용한다.

경우 2) $LBO < QT < HBO_1$

버퍼의 셀 점유율이 LBO이상이고 HBO₁ 이하일 때 새로 도착하는 CLP=1 이고 GFR.1 VC의 버퍼점유율 Q_i 가 $Z_i \times VC_{fair}^i$ 의 값보다 큰 경우 패킷은 폐기된다. CLP=0인 새로 도착하는 패킷은 GFR.1 VC의 버퍼점유율 Q_i 가 식 4.7의 임계값 Th_i 보다 크고, Q_i 가 $Z_i \times VC_{fair}^i$ 의 값보다 큰 경우 해당되는 VC는 다른 VC보다 더 많은 버퍼 공간을 사용하며 QoS를 위반하는 것으로 간주하고 패킷은 폐기된다.

경우 3) $HBO_1 < QT$

버퍼의 셀 점유율이 HBO₁ 이상인 경우에는 심각한 폭주 상태이므로 새로 도착하는 모든 패킷은 폐기한다.

■ GFR.2인 경우

경우 1) $QT < LBO$

버퍼의 셀 점유율이 LBO 미만일 때 CLP=0 및 CLP=1 여부에 관계없이 새로 도착하는 모든 패킷은 수용한다.

경우 2) $LBO < QT < HBO$

버퍼의 셀 점유율이 LBO이상이고 HBO 이하일 때 새로 도착하는 CLP=0 인 패킷은 모두 수용되며, CLP=1인 새로 도착하는 패킷은 GFR.2 VC의 버퍼점유율 Q_i 가 식 (5)의 임계

값 Th_i 보다 큰 경우, 또는 Q_i 가 $Z_i \times VC_{fair}^i$ 의 값보다 큰 경우 해당되는 VC는 다른 VC보다 더 많은 버퍼 공간을 사용하며 QoS를 위반하는 것으로 간주하고 패킷은 폐기된다.

경우 3) $HBO < QT$

버퍼의 셀 점유율이 HBO 이상인 경우에는 심각한 폭주 상태이므로 새로 도착하는 모든 패킷은 폐기한다.

여기에서 Z_i 는 상대적으로 높은 MCR의 VC가 셀 폐기 확률을 낮추도록 하는 스케일링 요소로서, Goyal은

$$Z_i를 1 - \frac{MCR_i}{\sum_j MCR_j} \text{ 또는 } \left(1 - \frac{MCR_i}{\sum_j MCR_j}\right)^2$$

였는데, 본 논문은 Z_i 를 $\left(1 - \frac{1}{MCR_i}\right)^2$ 으로 설정하여 사용하였다.

IV. 모의 실험

4.1 시뮬레이션 모델

ATM 카드를 장착한 워크스테이션들이 ATM 스위치와 직접 연결된 peer-to-peer 모델로 두 대의 ATM 스위치에 10대의 워크스테이션이 결합된 네트워크이다. 스위치는 TCP 소스들로부터 받은 패킷을 ATM 셀 중의 GFR.1 패킷과 GFR.2 패킷을 모두 수용하는 스위치들이다. 1번에서 5번까지의 워크스테이션은 GFR.1 패킷을 생성하여 전송하고, 6번부터 10번까지의 워크스테이션은 GFR.2 VC 패킷을 생성하여 전송하게 된다(그림 3). 각 워크스테이션은 3개의 TCP 연결이 연결되어 있고 각 TCP는 greedy 소스로 무한 크기의 파일을 전송한다.

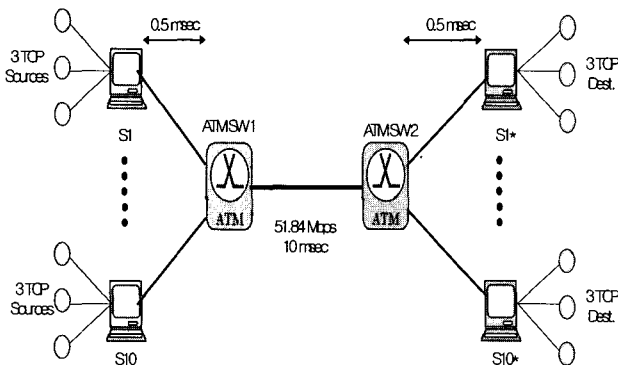


그림 3. 시뮬레이션 모델
Fig. 3. A simulation Model.

TCP의 MTU(Maximum Transfer Unit)는 기본 960 바이트로 20개의 ATM셀을 이루며, TCP의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. GFR.1을 위한 S1 ~ S5의 워크스테이션은 연결된 3개의 TCP 소스 패킷을 다중화하여 송신원과 수신원은 CLP=0인 프레임만 전송하며, F-GCRA를 거치지 않게 된다. GFR.2 VC를 위한 S6 ~ S10의 워크스테이션은 연결된 3개의 TCP 소스 패킷을 다중화하여 전송하며, 전송된 패킷은 NNI의 F-GCRA 테스트를 통해 대강이 수행된다.

표 1. TCP 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters for TCP.

Parameter	Value
Window size	65,535 bytes
Retransmission timer	50 msec
Maximum segment size	960 bytes
File size	infinite(∞)

네트워크의 모든 링크는 SONET OC-1인 51.84 Mbps이며 ATM 스위치간의 지연은 10 msec이고, 워크스테이션과 ATM 스위치간의 지연은 0.5 msec이다. 그림 4의 왼쪽에 위치한 워크스테이션들의 TCP 연결은 송신원이고, 오른쪽에 대응하는 워크스테이션의 TCP 연결은 수신원이며 각 워크스테이션 쌍은 하나의 GFR VC로 연결이 된다. 시뮬레이션에 사용된 TCP는 New Reno 버전으로, Slow-start, Congestion avoidance와 Fast-recovery, Rast-retransmit 알고리즘이 포함된다.

GFR에서 TCP/IP 트래픽 서비스에 대한 중요한 성능 평가의 기준은 TCP의 goodput과 공평성 지표(fairness index)이다. TCP의 goodput은 TCP 계층에서 수신한 패킷을 전송율로 환산한 측정값이다^[1]. 공평성 지표는 각 VC들 사이에 잉여 대역을 공평하게 사용하는지 나타내는 척도로 잉여 대역을 나누는 방법에는 equal allocation, allocation proportional to MCR, MCR plus equalshare, MCR plus weighted fair share 등이 있으며, 공평성 정도를 알아보기 위해 MCR plus weighted fair share를 공평성 척도로 적용한다. 공평성 지표는 TCP 연결상에서 처리율의 차이에 대한 함수로서 식 (7)과 같이 정의되며, 0(최소공평성)과 1(최대공평성) 사이에서 분포된다.

$$fairness\ index = \frac{(\sum_{i=1}^N x_i / f_i)^2}{N \times \sum_{i=1}^N (x_i / f_i)^2} \quad (7)$$

$$f_i = \frac{MCR_i}{\sum_{j=1}^N MCR_j} \times \sum_{j=1}^N x_j \quad (8)$$

여기에서 x_i 는 VC_i 의 수율이며, f_i 는 VC_i 의 공평 할당량, N 은 VC 의 갯수이다

제안한 알고리즘의 시뮬레이션은 잉여대역폭에 따른 성능을 측정하기 위하여 각 VC 들의 MCR 을 전부 더한 값인 total MCR 을 전체 대역의 30%, 40%, 50%, 60%, 70%인 16M, 20M, 26M, 32M, 36M로 설정하여 각각의 잉여대역폭이 35.84M, 31.84M, 25.84M, 19.84M, 15.84M의 값을 갖도록 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 ATM 스위치의 버퍼 용량 QMAX는 8K 셀, LBO는 2K 셀, HBO는 6.4K 셀로 설정하였다.

표 2. 시뮬레이션 환경 : 전체 대역 사용량 변화(30% - 70%)

Table 2. Simulation environment : Total MCR variation(30% - 70%).

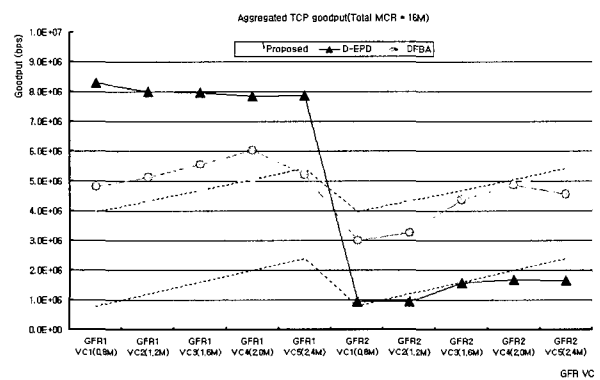
Total MCR	각 VC의 MCR	잉여 대역
30% (16M)	1~5 VC(GFR1) : 0.8M, 1.2M, 1.6M, 2.0M, 2.4M 6~10 VC(GFR2) : 0.8M, 1.2M, 1.6M, 2.0M, 2.4M	35.84M
40% (20M)	1~5 VC(GFR1) : 1M, 1.5M, 2M, 2.5M, 3M 6~10 VC(GFR2) : 1M, 1.5M, 2M, 2.5M, 3M	31.84M
50% (26M)	1~5 VC(GFR1) : 1.3M, 1.95M, 2.6M, 3.25M, 3.9M 6~10 VC(GFR2) : 1.3M, 1.95M, 2.6M, 3.25M, 3.9M	25.84M
60% (32M)	1~5 VC(GFR1) : 1.6M, 2.4M, 3.2M, 4M, 4.8M 6~10 VC(GFR2) : 1.6M, 2.4M, 3.2M, 4M, 4.8M	19.84M
70% (36M)	1~5 VC(GFR1) : 1.8M, 2.7M, 3.6M, 4.5M, 5.4M 6~10 VC(GFR2) : 1.8M, 2.7M, 3.6M, 4.5M, 5.4M	15.84M
QMAX : 8K cells, LBO : 2K cells, HBO : 6.4K cells		

4.2 결 과

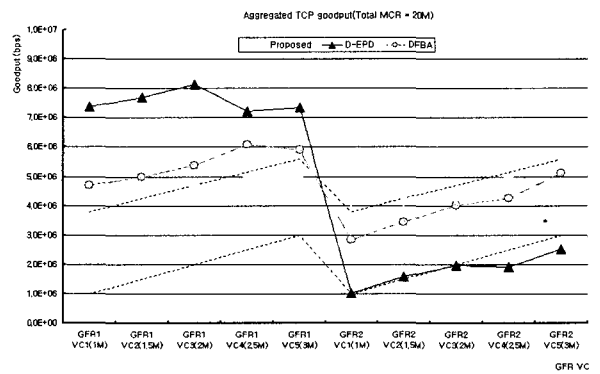
위와 같이 시뮬레이션 환경을 설정하고 GFR.2만을 대상으로 버퍼 관리 알고리즘을 수행하는 double-EPD와 DFBA와 제안된 알고리즘을 비교하기 위하여 GFR.1

VC와 GFR.2 VC를 생성하여 기존 알고리즘에 그대로 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 즉, 기존 알고리즘에서는 GFR.1에 의한 $CLP=0$ 셀과 $CLP=1$ 셀을 GFR.2에 의한 $CLP=0$ 인 셀과 $CLP=1$ 인 셀로 인식하여 기존 알고리즘의 패킷 폐기 알고리즘이 수행하도록 하였다.

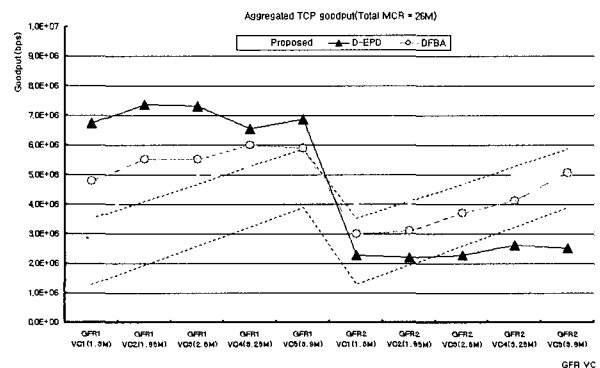
그림 4는 total MCR 변화에 따른 제안한 알고리즘과 double-EPD, DFBA 알고리즘의 GFR.1과 GFR.2에 따른 goodput을 보여준다. 그림에서 상·하 점선은 각각 이상적인 goodput과 MCR 을 나타낸다.



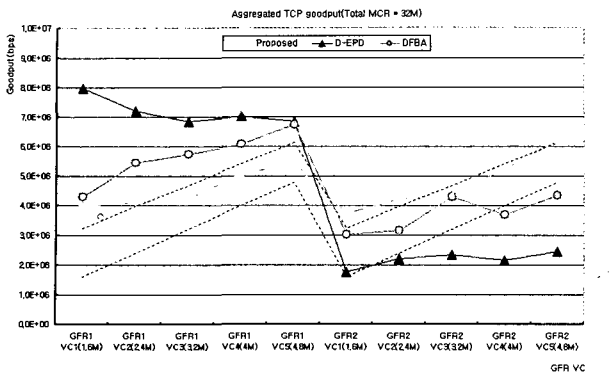
(a)



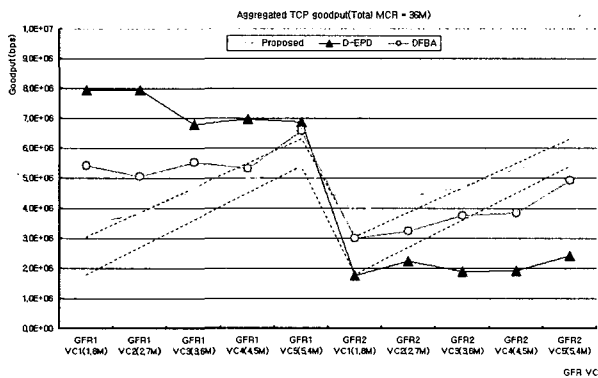
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 4. 대역 사용량 변화에 따른 goodput. $\Sigma MCR =$ (a) 16M (b) 20M (c) 26M (d) 32M (e) 36M

Fig. 4. Goodput with total MCR variation. $\Sigma MCR =$ (a) 16M (b) 20M (c) 26M (d) 32M (e) 36M

(a), (b), (c)의 경우 잉여대역이 각각 35.84M, 31.84M, 25.84M으로서 제안한 알고리즘은 각 잉여 대역을 공평히 할당하여 GFR.1 VC 및 GFR.2 VC 구별 없이 이상적인 goodput에 근접하여 증가하는 결과를 보이고 있으며, 최소전송율도 보장하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 double-EPD의 경우 GFR.1의 경우 이상적인 goodput을 초과하여 잉여대역폭을 독점함으로써 GFR.2의 VC들이 MCR도 보장받지 못하게 됨을 볼 수가 있다. DFBA의 경우 최소전송율은 보장하고 있지만 GFR.1의 VC들이 이상적인 goodput을 초과하여 잉여대역을 사용하고 있으며, 이로 인하여 GFR.2의 VC들이 이상적인 goodput에 미치지 못함을 볼 수가 있다. DFBA의 경우 알고리즘의 특성상 확률에 의해 패킷 폐기를 수행 하지만, GFR.2에 속하는 CLP=1인 셀 수가 많음으로써 GFR.1 보다 goodput이 낮게 나옴을 알 수 있다.

잉여대역이 19.84M, 15.84M인 (d)와 (e)의 경우 제안

한 알고리즘이 최소전송율은 항상 보장하지만 이상적인 goodput에 완전히 만족하지 않음을 볼 수 있으며, double-EPD와 DFBA의 경우 (a), (b), (c)의 경우와 거의 비슷함을 볼 수 있다.

위의 그림에서 공통적으로 보이는 현상은 MCR이 높은 VC가 자신의 이상적인 goodput보다 낮은 goodput을 가지게 되고, MCR이 높은 VC가 자신의 이상적인 VC보다 높은 goodput을 가지게 된다. 제안된 알고리즘 및 double-EPD와 DFBA 알고리즘은 모두 버퍼점유율을 이용하여 버퍼관리를 수행하는 알고리즘이기 때문에 발생하는 것으로, 요인으로는 F-GFRA에 의한 태깅과 TCP의 버스트 특징인 slow-start와 congestion avoidance 알고리즘에 의한 것으로 분석된다.

표 3. Total MCR 변화에 따른 fairness index
Table 3. Fairness index with total MCR variation.

Algorit hm	Total MCR	GFR.1 VC	GFR.2 VC	Total Fairness
D-EPD	16M	0.98350	0.97081	0.64989
	20M	0.97879	0.97467	0.70287
	26M	0.96415	0.98023	0.77683
	32M	0.92145	0.97948	0.71370
	36M	0.90202	0.95641	0.68132
	Average	0.94998	0.97230	0.70492
DFBA	16M	0.99354	0.98966	0.97040
	20M	0.99728	0.99570	0.97039
	26M	0.98748	0.98721	0.95384
	32M	0.99237	0.98363	0.94865
	36M	0.95099	0.98746	0.92122
	Average	0.98433	0.98873	0.95200
Proposed	16M	0.99981	0.99865	0.99906
	20M	0.99246	0.99663	0.99418
	26M	0.99777	0.98956	0.99363
	32M	0.98392	0.99475	0.98925
	36M	0.99033	0.98470	0.98564
	Average	0.99285	0.99285	0.99235

표 3은 전체 대역 사용량 변화에 따른 공평성 지표를 보여준다. 시뮬레이션 결과에 따르면 제안된 알고리즘이 공평성 지표 관점에서 기존의 알고리즘보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

Total MCR이 16M인 경우 double-EPD의 예를 들어 보면, GFR.1 VC들에 의한 공평성 지표가 0.98350이고

GFR.2 VC들에 의한 공평성 지표가 0.97081가 된다. 그러나 전체 공평성 지표를 보면 0.64989이다. 즉, GFR.1 VC들과 GFR.2 VC들 간의 공평성이 현저하게 떨어짐을 알 수가 있다.

제안된 알고리즘의 경우 GFR.1 VC들에 의한 공평성 지표가 0.99981이고 GFR.2 VC들에 의한 공평성 지표가 0.99865로서 GFR.1 VC 및 GFR.2 VC 자체의 공평성 지표도 높을 뿐만 아니라 전체 공평성 지표도 0.99906으로서 기존의 알고리즘보다 성능의 향상을 가져왔다. Total MCR이 36M인 경우에도 double-EPD의 경우 전체 공평성 지표가 0.68132이고 DFBA의 경우 0.92122이며, 제안된 알고리즘은 0.98564로서 잉여 대역이 부족할 경우에도 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘보다 공평성 지표 관점에서 우수한 성능 향상의 결과를 보여준다.

전체 대역 사용량 변화에 따른 공평성 지표를 평균한 값을 보면 double-EPD의 경우 GFR.1 VC, GFR.2 VC, 전체 공평성 값이 0.94998, 0.97230, 0.70492의 결과를 보여주며, DFBA의 경우 0.98433, 0.98873, 0.95200, 제안한 알고리즘의 경우 0.99285, 0.99285, 0.99235의 값을 보여주며, 제안한 알고리즘이 GFR.1 VC에 의한 공평성 및 GFR.2 VC에 의한 공평성과 비슷한 전체 공평성 지표를 가지고 있음을 시뮬레이션 결과 알 수 있었다.

따라서 제안한 알고리즘은 단일 per-VC accounting 버퍼에서 GFR.1 VC와 GFR.2 VC에 따라 현재 버퍼를 점유하고 있는 셀 수를 계산하여 차별적으로 처리함으로써 각 VC의 공평성과 GFR.1 VC와 GFR.2 VC와의 공평성, 또한 전체적인 공평성 측면에서 우수한 성능을 보여주었다.

V. 결 론

본 논문에서 제안된 버퍼 관리 알고리즘은 단일 FIFO에서 per-VC accounting 방식을 사용하며 GFR.1 및 GFR.2 모두를 수용할 수 있는 버퍼 관리 알고리즘이다. 기존의 알고리즘은 모두 GFR.2를 고려하여 패킷 폐기 정책을 수행하는 알고리즘으로서 GFR.1에 의한 CLP=0 셀과 CLP=1 셀을 GFR.2에 의한 CLP=0과 CLP=1 셀을 동일시하여 처리하는 구조를 가지게 된다.

본 논문에서 제안된 버퍼 관리 알고리즘은 GFR.1 및 GFR.2 모두를 수용하기 위하여 전역 버퍼에 공통의 LBO 임계값을 설정하며 GFR.2를 위한 HBO, GFR.1을

위한 HBO1을 두어 GFR.1 및 GFR.2에 의한 VC들을 구별하여 패킷 폐기 여부를 결정할 수 있도록 하였다.

또한 각 VC들이 잉여대역을 독점하여 사용하는 것을 방지하기 위하여 CLP=0인 셀 수와 F-GCRA에 의해서 태깅 되어진 CLP=1인 GFR.2 셀 수에 관점을 두고 동적 임계값을 계산하여 GFR.1 및 GFR.2를 구별하여 차별적으로 관리하도록 하였다.

시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘은 단일 FIFO 버퍼에서 GFR.1과 GFR.2의 상대적 중요도를 따져 차별적인 버퍼관리를 수행함으로써 GFR.1 및 GFR.2를 모두 수용하면서 GFR 서비스의 요구사항인 최소전송율을 보장하는 물론 double-EPD, DFBA에 비해 GFR.1 VC들과 GFR.2 VC들에게 공평하게 잉여 대역을 할당하여 사용함을 볼 수 있었으며, 세부적으로는 GFR.1간의 공평성과 GFR.2간의 공평성 및 전체 공평성 관점에서도 double-EPD, DFBA와 비교하여 우수한 성능을 보여주었다. 그 결과 TCP 트래픽을 효율적으로 전송할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] The ATM Forum Technical Committee, Draft TM 4.1 Traffic Management Specification, ATM Forum/BTD-TM-02.02, Dec. 1998.
- [2] O. Bonaventure, Nelissen. J, "Guaranteed Frame Rate : A Better Service for TCP/IP in ATM Networks," IEEE Network, Jan. 2001.
- [3] Goyal, R. Jain, R. Fahmy, S.Vandalore, "Providing Rate Guarantees to TCP over the ATM GFR Service," Conference on Local Computer Networks, pp. 390-398, 1998.
- [4] Y-G. Jeon, H-S. Park, "Performance Evaluation and Fairness Improvement of TCP over ATM GFR in FIFO-Based Mechanisms," IEICE Trans. Commun., Vol.84-B, No.8, Aug. 2001.
- [5] R. Guerin, J. Heinane, "UBR+ Service Category Definition," ATM Forum Contribution/96-1598, Dec. 1996.
- [6] R. Goyal, R. Jain, S. Fahmy and B. Vandalore, "Buffer Management for the GFR Service," ATM Forum/98-0405.

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

[8] O. Bonaventure, "Integration of ATM under TCP/IP to Provide Services with Guaranteed Minimum Bandwidth," Ph.D. Thesis, Université de Liège, Mar. 1999.

[9] Kwan-woong KIM, Sung-Hwan BAE, Byoung-Sil. CHON, "A New Buffer Management scheme for Support TCP/IP Traffic over ATM-GFR," IEICE Trans. Commun., Vol.E86-B, No.8, Aug. 2003.

저 자 소 개



정 광 일(정회원)

1997년:전북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년: 전북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년:전북대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 2003년~현재:한국표준과학연구원 정보전

산그룹. <주관심분야:ATM, 인터넷QoS, 초고속통신망구조 >

김 관 응(정회원)

제39권 TC편 제9호 참조



김 남 희(정회원)

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

2002년~현재: 군산대학교 컴퓨터정보과학과 전임강사 <주관심분야: ATM 트래픽제어, 광대역통신망>

정 경 택(정회원)

제40권 TC편 제4호 참조



박 현 민(정회원)

2000년:전북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002: 전북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년~현재:한국표준과학연구원 정보전산그룹 <주관심분야 : ATM, 인터넷QoS, 라우팅

알고리즘 >



채 군 식(정회원)

1989년: 계명대학교 문헌정보학과 (문학사) 1996년: 충남대학교 대학원 문헌학과 (문학석사) 2003년: 충남대학교 문헌정보학과 박사

과정

1989년~현재: 한국표준과학연구원 정보전산그룹 <주관심분야: 인터넷QoS, 정보가공 및 처리기술, 전자도서관>

전 병 실(정회원)

제40권 TC편 제4호 참조