

# IP over ATM 네트워크에서 퍼지 버퍼 관리 알고리즘

김관웅\* · 배성환\*\*

## 요 약

본 논문에서는 ATM 네트워크에서 인터넷 트래픽 성능 향상을 위한 퍼지룰 응용한 버퍼 관리 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 퍼지 제어기를 이용해서 새로 도착하는 패킷을 버퍼의 상태와 VC의 부하에 따라 동적으로 폐기를 결정하여 버퍼 이용 효율과 GFR의 요구 사항을 충족할 수 있도록 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 버퍼 관리 알고리즘과 성능을 비교한 결과, 공평성과 TCP 수율 면에서 성능이 향상됨을 보였다.

## A Fuzzy Logic Buffer Management Algorithm

Kwan-Woong Kim\* · Sung-Hwan Bae\*\*

## ABSTRACT

We propose a fuzzy logic-based buffer management algorithm to improve internet traffic over ATM-GFR service. The proposed algorithm employs the strategies of early congestion detection and selective packet discard to achieve its design goals.

A key feature of proposed algorithm is its ability to accept or drop a new incoming packet dynamically based on buffer condition and load rate of VCs. This is achieved by using fuzzy logic controller for the production of a drop factor. Simulation results show that proposed scheme significantly has improved fairness and TCP throughput compared with previous schemes.

키워드 : 버퍼관리(Buffer Management), QoS(Quality Of Service), TCP/IP

## 1. 서 론

인터넷의 발전에 따라 사용자의 서비스에 대한 요구가 다양해지는 동시에 서비스의 품질에 대한 요구가 높아지고 있다. 특히 멀티미디어 서비스의 도입에 따라 화상 전송과 같은 넓은 대역폭을 요구하는 서비스, 더 나아가 영상, 고품질 방송과 같은 높은 대역폭과 실시간 전송을 요구하는 어플리케이션이 서비스되고 있다. 많은 사용자가 동시에 요구하는 멀티미디어 서비스를 지원하기 위하여 망을 확장하는 동시에 기존 망을 효율적으로 최대 활용하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

ATM 포럼에서도 인터넷 트래픽을 효율적으로 전송하고 차등적인 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위하여 새로운 ATM 계층 서비스로 GFR(Guaranteed Frame Rate) 서비스를 제시했다[1]. GFR은 인터넷 트래픽의 효율적인 서비스를 위해 최소 전송률(MCR, Minimum Cell Rate)을 보장하며 잉여대역을 각 연결된 VC에 공평히 할당하여야 한다. GFR의 구현을 위해 ATM 스위치에서 GFR이 요구하는 최

소 전송률 보장 및 높은 공평성을 제공하기 위한 버퍼 관리 방식에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. GFR에서 버퍼 관리는 네트워크 대역을 효율적으로 사용하고 폭주상태를 해결하는 기능 뿐 아니라, VC별 데이터 트래픽의 수용을 제어하여 VC에 할당된 MCR을 보장하고 공평성을 향상시키는 기능을 수행한다[2].

GFR에서 TCP 성능을 향상시키기 위해서 Double-EPD(Double-Early Packet Discard)[3], DFBA(Differential Fair Buffer Allocation)[4], WFBA(Weighted Fair Buffer Allocation)[5]와 같은 FIFO 기반의 버퍼 관리 알고리즘이 ATM 네트워크에서 GFR을 지원하기 위해서 제안되었다. GFR을 서비스하기 위해 인터넷에서 광범위하게 사용하는 IP기반 TCP, UDP 트래픽을 서비스 할 시 인터넷 트래픽이 가지는 버스티한 특성으로 인해 최소 전송률 보장과 공평성을 제공하기가 어렵다. 본 논문에서는 퍼지 추론 기술을 이용하여 인터넷 트래픽을 GFR을 통해 효율적으로 서비스하기 위한 버퍼 관리 알고리즘을 제안한다.

## 2. 퍼지 추론 기반 버퍼 관리 알고리즘

ATM 네트워크 기반으로 고속 패킷 스위칭 네트워크를

\* 이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원에 의하여 연구되었음.

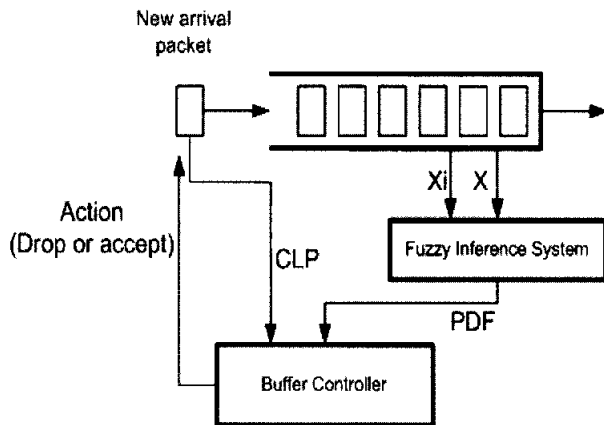
† 준회원 : Post-doc, University of Haute Alsace

\*\* 정회원 : 한려대학교 멀티미디어정보통신공학과 교수  
논문접수 : 2004년 7월 12일, 심사완료 : 2005년 2월 15일

구현하기 위한 퍼지 기반 버퍼 관리 알고리즘에 대하여 기술한다. 제안된 퍼지 버퍼 관리 알고리즘의 구조는 (그림 1)과 같다.

TCP 소스들의 공평한 버퍼 할당을 위해 SD(selective drop)를 사용한다. 즉, VC들의 공평한 버퍼 할당을 위해 각각의 활성 VC들의 버퍼 점유율을 추적하여 공평한 할당 대역보다 초과해서 사용하는 프레임을 선택적으로 폐기함으로써 서비스의 공평성을 보장한다. 패킷 폐기여부를 결정하기 위해 (그림 1)과 같이 퍼지 추론 시스템에 버퍼의 점유율(X)와 패킷이 속한 VC의 버퍼 점유율(X<sub>i</sub>)를 입력 받는다.

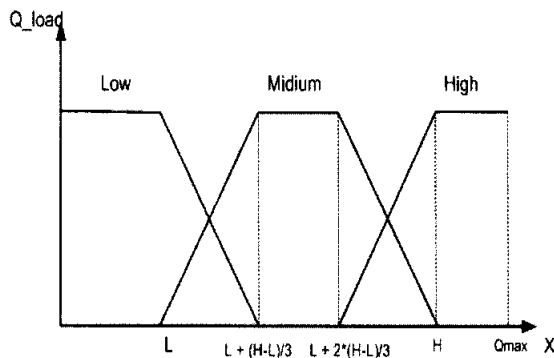
입력받은 X, X<sub>i</sub> 변수로 퍼지 추론 시스템(Fuzzy Inference System)은 PDF(Packet Drop Factor)를 생성하고 버퍼 제어기(Buffer Controller)에서 패킷의 CLP(Cell Loss Priority)와 PDF를 이용하여 패킷의 수용여부를 결정한다. 다음 절에서 제안된 퍼지 추론 시스템의 자세한 구조를 설명한다.



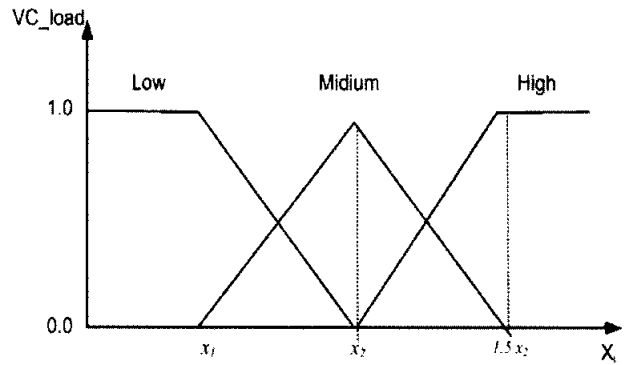
(그림 1) Fuzzy Logic 버퍼 관리 알고리즘 구조

2.1 퍼지 추론 시스템

본 논문에서 제안한 퍼지 기반 버퍼 관리 알고리즘의 퍼지 추론 시스템은 전체 버퍼 점유율(X)과 VC의 버퍼 점유율(X<sub>i</sub>)로 부하량과 VC의 할당대역 초과분을 판단하여 출력 PDF를 계산한다. (그림 2)는 버퍼의 부하량(Q<sub>load</sub>)의 멤버 함수를 보여준다. 버퍼에 두개의 임계치 (L, H)를 설정하고, 큐의 부하를 Low, Medium, High의 3단계로 구분하였다.



(그림 2) Queue load 멤버함수



(그림 3) VC load 멤버함수

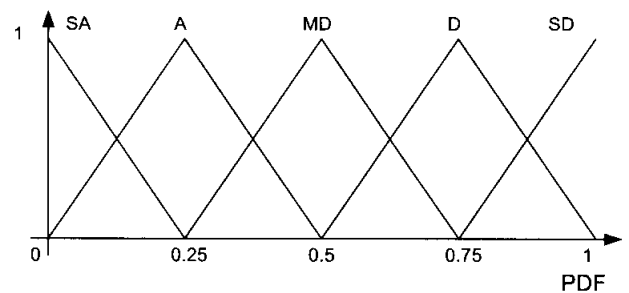
(그림 3)은 VC 부하의 멤버함수이다. 버퍼의 셀 점유율과 VC의 MCR과 할당된 대역을 고려하여 x<sub>1</sub>과 x<sub>2</sub>는 식 (1), (2)과 같이 설정한다.

$$x_1 = \frac{MCR_i}{C_{GFR}} X \tag{1}$$

$$x_2 = \frac{MCR_i}{\sum MCR_i} X \tag{2}$$

여기서, C<sub>GFR</sub>은 GFR 클래스에 할당된 전체 대역이고, X는 큐에 대기하고 있는 총 셀 수, MCR<sub>i</sub>는 i 번째 VC의 협상된 MCR 값이다.

x<sub>1</sub>은 큐의 셀 점유율이 X일 때 i-번째 VC의 MCR에 따른 할당된 버퍼 공간을 의미하고, x<sub>2</sub>는 셀 점유율이 X일 때 i-번째 VC에 공평히 할당된 대역에 관련되어 할당된 버퍼 공간이다. 두 가지 VC<sub>load</sub>와 X의 입력 변수를 가지고 패킷폐기 파라미터 PDF를 맵핑시키기 위해 퍼지 제어 규칙을 생성하였다. (그림 4)는 패킷폐기 파라미터 PDF의 멤버 함수이다.



(그림 4) PDF 멤버함수

생성된 퍼지 제어 규칙은 다음과 같은 조건을 고려하여 결정하였으며, 퍼지 추론 시스템의 제어규칙은 <표 1>과 같다.

- (1) 심각한 폭주상태 : 큐의 셀 점유율이 높아서 폭주 상태가 심각하므로 PDF의 값을 “SD”나 “D”로 설정하여 버퍼에 입력되는 패킷을 폐기할 수 있도록 한다.

- (2) 중간 레벨의 폭주상태 : 큐의 셀 점유율이 증가 상태이며, VC의 부하에 따라 PDF의 값을 "MD" 부터 "MA"로 설정하여 입력되는 패킷을 상황에 따라 선택적으로 폐기하여 VC별 공평성을 향상한다.
- (3) 낮은 레벨의 폭주상태 : 큐의 셀 점유율이 낮은 상태이므로 PDF의 값을 "MA" 이하로 설정하여 VC의 부하에 상관없이 모든 입력되는 패킷을 받아들인다.

<표 1> 퍼지 제어 규칙

if Q_load	and VC_load	then PDF is
High	High	SD(Strong Drop)
High	Medium or Low	D(Drop)
Medium	High	MD(Marginal Drop)
Medium	Medium	MA(Marginal Accept)
Medium	Low	A(Accept)
Low	High	A(Accept)
Low	Medium or Low	SA(Strong Accept)

<표 2> 제안된 알고리즘의 의사코드

```

on arrival of new packet of VC[i]
PDF = FIS(X, X[i]);
    if (X < L) {
        accept packet;
    }
else if(L < X < H) {
    if (CLP of packet == 1 && PDF > L_th )
    {
        discard packet;
    }
    if (CLP of packet == 0 && PDF > H_th )
    {
        discard packet;
    }
    else {
        accept packet;
    }
}
else if (H < X < Qmax)
{
    if (CLP of packet == 0 && pdf < L_th) accept packet
    else discard packet
}
else
    discard packet;
    
```

<표 2>은 제안된 퍼지 기반 버퍼 관리 알고리즘의 의사 코드를 보여준다. 퍼지 기반 버퍼 제어기는 퍼지 추론 시스템으로부터 출력된 PDF값과 버퍼의 임계치 L, H에 따라 패킷을 수용할지 폐기할지를 결정한다. 버퍼의 현재 점유율(X)가 임계치 L보다 작으면 새로 버퍼로 진입하는 패킷은 모두 수용된다. X가 L과 H 사이에 있는 경우, 패킷의 CLP에 따라 다르게 처리한다. 패킷의 CLP가 1이고(CLP = 1인 패킷은 우선순위가 낮다) 퍼지 추론 시스템의 출력 값인 PDF가 L\_th보다 크면 패킷은 폐기되고, 이 외의 경우에는 버퍼

에 수용된다. 패킷의 CLP가 0이고(CLP = 0인 패킷은 우선순위가 높다) 퍼지 추론 시스템의 출력 값인 PDF가 H\_th보다 크면 패킷은 폐기되고, 이 외의 경우에는 버퍼에 수용된다.

X가 임계치 H보다 크고 버퍼용량(Qmax)보다 작을 경우, CLP = 1인 패킷은 모두 폐기한다. CLP = 0인 패킷이 입력될 경우, PDF 값이 L\_th보다 클 경우 패킷을 폐기한다. X가 Qmax와 같을 경우 버퍼용량이 가득 찬 경우로, 가장 높은 혼잡상태이므로 들어오는 모든 패킷은 모두 폐기된다. 여기서 L\_th와 H\_th는 각각 PDF의 낮은 임계치와 높은 임계치이다.

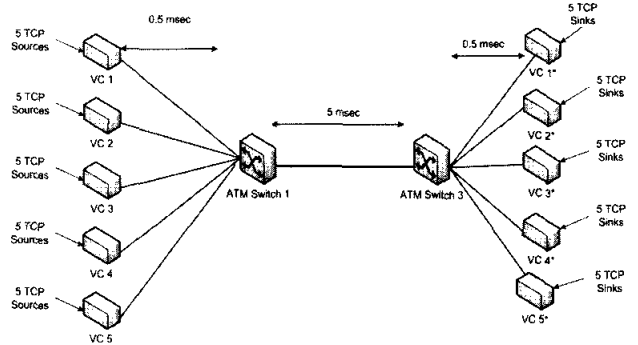
### 3. 시뮬레이션 및 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능평가를 위해, 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 C++로 작성했으며 이벤트 기반 구조로 구현되었다. GFR 서비스를 지원하기 위해서는 크게 태깅, 버퍼 관리, 스케줄링 세 가지의 구성 요소가 이루어지며, 모의실험에 사용된 태깅 방식은 F-GCRA 알고리즘[6]을 이용하였고, 버퍼 관리 알고리즘으로는 D-EPD, DFBA가 구현되었다.

GFR에서 TCP/IP 트래픽 서비스에 대한 중요한 성능 평가 기준은 TCP의 Goodput과 공평성 지표(fairness index)이다. TCP의 Goodput은 TCP 계층에서 수신한 패킷을 전송률로 환산한 측정값이다[6]. 공평성 지표는 각 VC들 사이에 잉여 대역을 공평하게 사용하는지에 대한 척도로 잉여 대역을 할당하는 방식에는 각 VC의 MCR에 비례해서 나누는 방식(Allocation proportional to MCR), 모든 VC에 똑같이 나누는 방식(MCR+equalshare)[1, 7]등이 있고, 공평성 성능을 측정하기 위해 식 (3)과 같이 공평성 지표를 계산한다.

$$fairness\ index = \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i/f_i\right)^2}{N \times \sum_{i=1}^N (x_i/f_i)^2} \quad (3)$$

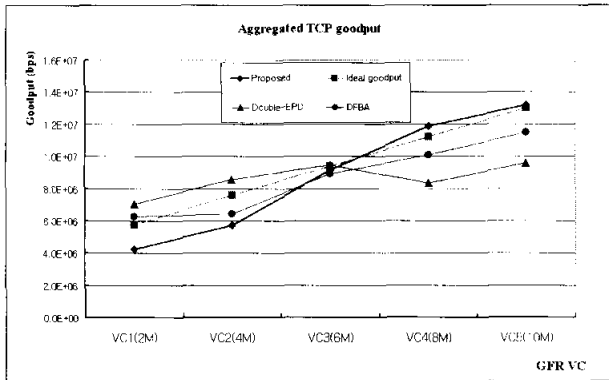
(여기서  $x_i$ 는 VC<sub>i</sub>의 수율이며,  $f_i$ 는 VC<sub>i</sub>의 공평 할당량이다.)



(그림 5) 시뮬레이션 모델

제안된 알고리즘의 성능평가를 위해 (그림 5)와 같은 one-hop 네트워크 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 5개의 VC의 MCR은 2, 4, 6, 8, 10 Mbps로 설정하였으며 5개의 TCP 소스가 연결되어 트래픽을 생성한다.

(그림 6)은 각 VC별 TCP Goodput을 보여준다. 제안된 알고리즘과 DFBA는 이상적인 Goodput에 근접하지만 Double-EPD의 경우 MCR이 2 Mbps, 4 Mbps인 VC들이 이상적인 TCP Goodput보다 높은 수율을 나타냄으로써 낮은 MCR의 VC가 높은 MCR보다 높은 Goodput의 결과를 보였다. <표 3>는 전체 TCP Goodput과 네트워크 효율 및 공정성 지표를 보여준다. 제안된 알고리즘은 DFBA나 Double-EPD보다 네트워크 효율 면에서 우수했으며, 공정성도 Double-EPD보다 좋은 성능을 보였다.



(그림 6) VC별 TCP Goodput

<표 3> 시뮬레이션 결과

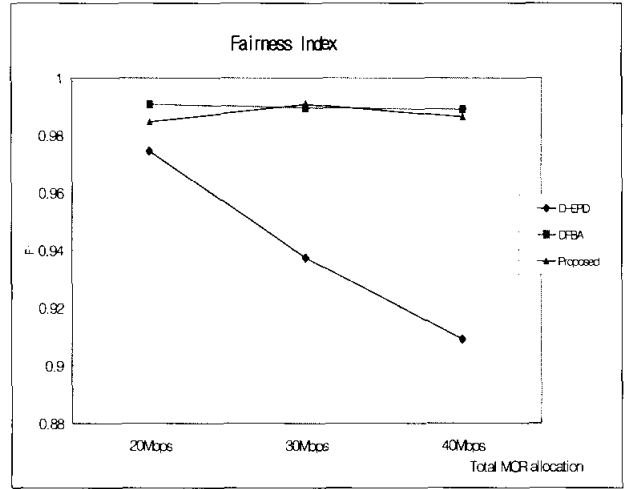
	D-EPD	DFBA	Proposed
TCP Goodput	42.97 Mbps	43.18Mbps	44.16 Mbps
Efficiency	91.53%	91.98%	94.05%
Fairness index	0.9920	0.9596	0.9784

3.1 MCR 할당에 따른 성능평가

VC에 할당하는 총 MCR에 따른 성능평가를 위해 총 MCR을 20Mbps, 30Mbps, 40Mbps로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다. <표 4>와 (그림 7)은 각각 네트워크 효과과 공정성지표를 보여준다. Double-EPD의 경우 총 MCR을 20Mbps로 할당했을 경우, 0.9745의 좋은 성능을 보였으나, 총 MCR이 증가 할수록 성능이 저하되었다. 반면 DFBA나 제안된 알고리즘의 경우 MCR 할당에 관계없이 좋은 성능을 보인다.

<표 4> MCR 할당에 따른 성능결과

		20Mbps	30Mbps	40Mbps
Double-EPD	Fairness Index	0.9745	0.9373	0.909
	Efficiency	97.78%	97.73%	97.74%
DFBA	Fairness Index	0.9909	0.9896	0.9890
	Efficiency	97.76%	97.72%	97.71%
Proposed	Fairness Index	0.9847	0.9908	0.9864
	Efficiency	98.38%	98.28%	98.26%

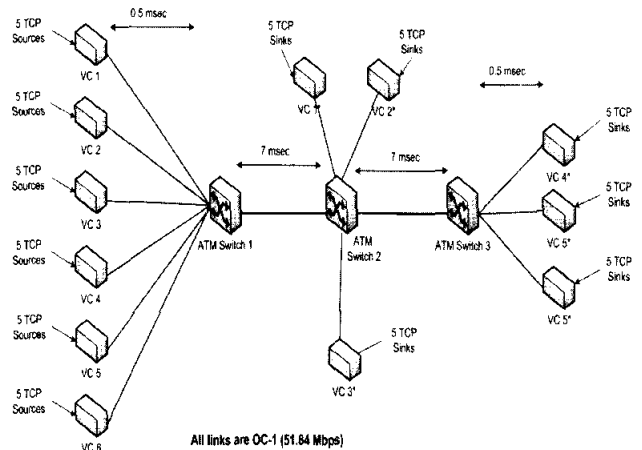


(그림 7) MCR 할당에 따른 Fairness Index

3.2 Parking-Lot 모델

TCP는 망의 폭주상황에 유연하게 대처하기 위해 폭주 회피와 느린 시작, 두 가지 흐름제어 기법을 사용한다. 이 두 가지 기법은 패킷의 손실이 발생했을 경우 윈도우 크기를 줄여서 전송 속도를 낮춤으로써 망의 폭주상황을 회피하는 기법으로 종단 간의 전송 지연 시간에 밀접한 관계가 있다[8, 9, 10]. 두 가지 알고리즘이 수행이 되면 전송속도를 줄이고, 다시 시간이 지남에 따라 속도를 증가시키는 방법으로 RTT(Round Trip Time)가 짧은 연결일수록 전송속도의 증가시간이 짧아져서 상대적으로 RTT가 긴 연결보다 서비스를 많이 받을 수 있다[8, 9].

TCP 연결 간의 RTT와 MSS(Maximum Segment Size) 파라미터가 TCP의 성능에 미치는 영향을 평가하기 위해서 (그림 8)과 같은 Parking lot 네트워크 모델을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. VC1~VC3는 SW1과 SW2를 거쳐 VC1\*~VC3\*와 연결되므로 링크 지연시간은 8 msec가 된다. 반면 VC4~VC5 경우 SW1, SW2와 SW3를 거치므로 링크 지연시간은 총 15 msec가 된다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터는 <표 5>와 같다.



All links are OC-1 (51.84 Mbps)

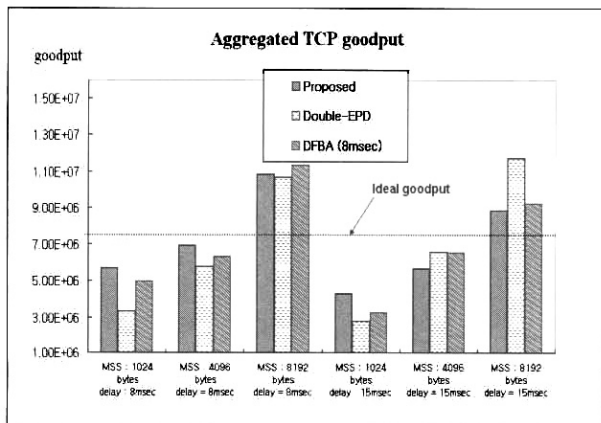
(그림 8) Parking-lot 모델

〈표 5〉 Parking lot 시뮬레이션 파라미터

	MSS	link delay	MCR
VC1	1024 bytes	8msec	6 Mbps
VC2	4096 bytes	8msec	6 Mbps
VC3	8192 bytes	8msec	6 Mbps
VC4	1024 bytes	15msec	6 Mbps
VC5	4096 bytes	15msec	6 Mbps
VC6	8192 bytes	15msec	6 Mbps

(그림 9)와 <표 6>은 Parking-lot 모델에서의 각 알고리즘별 성능평가결과를 보여준다. (그림 9)의 각 VC의 TCP Goodput의 그래프를 고찰하면, 지연이 같은 VC라도 MSS가 클수록 높은 TCP Goodput을 보인다. 같은 MSS인 경우에는 지연이 작은 VC가 높은 TCP Goodput을 얻을 수 있다. 이렇게 TCP 성능이 패킷의 크기와 지연에 따라 영향을 받는 주요 원인은 TCP의 흐름제어 알고리즘이 한 RTT 동안 congestion window의 크기를 1 세그먼트씩 증가시키는데 이것은 세그먼트의 크기가 큰 TCP 연결이 한 RTT 동안 보내는 데이터의 양이 세그먼트가 작은 TCP 연결보다 많은 것을 의미한다.

또한 RTT가 작은 연결의 경우 상대적으로 RTT가 긴 연결보다 빠르게 congestion window를 증가시키기 때문에 인터넷 트래픽의 공평한 서비스 제공을 위해서는 지능적인 자원 배분과 패킷 폐기 알고리즘이 요구된다. <표 6>의 성능평가 결과, 제안된 알고리즘이 DFBA나 D-EPD 보다 네트워크 효율 및 공평성에서 보다 우수한 성능을 보였으며, 네트워크 지연과 패킷의 크기의 영향을 덜 받음을 확인할 수 있었다.



(그림 9) 시뮬레이션 결과 : Parking-lot 네트워크

〈표 6〉 Parking-lot 네트워크에서 성능결과

	D-EPD	DFBA	Proposed
TCP Goodput	40.90 Mbps	41.60Mbps	42.24 Mbps
Efficiency	87.12%	88.62%	89.96%
Fairness index	0.8025	0.8713	0.9114

#### 4. 결 론

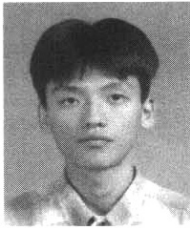
ATM 포럼에서 인터넷 트래픽과 같은 "best-effort" 트래픽

을 효율적으로 서비스하기 위해 새로운 GFR 클래스를 제안했다. 인터넷에서 광범위하게 사용하는 IP기반 TCP, UDP 트래픽을 서비스 할 시 인터넷 트래픽이 가지는 버스티한 특성으로 인해 최소 전송을 보장과 공평성을 제공하기가 어렵다.

본 논문에서는 퍼지 기반의 버퍼 관리 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 퍼지추론 시스템을 이용하여 네트워크 상태와 VC의 부하에 따라 패킷을 처리하여 GFR이 요구하는 MCR 보장 및 공평한 대역할당을 제공할 수 있도록 설계하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 Double-EPD, DFBA와 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과, 기존의 버퍼 관리 알고리즘은 패킷 크기와 링크의 지연시간에 따라 TCP의 성능에 많은 영향을 받았다. 반면 제안된 알고리즘의 경우 패킷 크기와 지연시간의 영향을 최소화하고 기존 알고리즘보다 공평성과 네트워크 효율 측면에서 더 우수한 성능을 보였다.

#### 참 고 문 헌

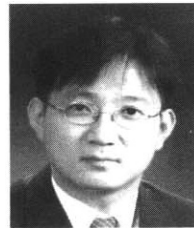
- [1] The ATM Forum Technical Committee, "Draft TM 4.1 Traffic Management Specification", ATM Forum/BTD-TM-02.02, Dec., 1998.
- [2] J. Andrikopoulos, A. Liakopoulos, et. "Providing Rate Guarantees for Internet Application Traffic across ATM networks," *IEEE Communications surveys*, Vol.2, No.3, 1999.
- [3] R. Guerin and J. Heinanen, "UBR+ Service Category Definition," ATM Forum contribution, ATM96-1598, Dec., 1996.
- [4] J. Heinanen and K. Kilikiki, "A Fair Buffer Allocation Scheme," *Computer Communication* 21, pp 220-226, 1998.
- [5] R. Goyal, R. Jain, S. Fahmy and B. Vandalore, "Buffer Management for the GFR Service," ATM Forum/ 98-0405.
- [6] J. Huang, B-J. Lee, and S. Khorsandi, "A Simulation study of GFR Implementation," ATM Forum contribution, ATM97-1035, Dec., 1997.
- [7] S. Sathaye, "ATM Forum Traffic Management Specification, Version 4.0," ATM Forum Technical Committee, Mar., 1996.
- [8] W. Stevens. "TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit and fast recovery algorithms", Internet RFC 2001, Jan., 1997.
- [9] Bonaventure, Olivier, "Integration of ATM under TCP/IP to Provide Services with Guaranteed Minimum Bandwidth," Ph.D. Thesis, Université de Liège, March, 1999.
- [10] R. Goyal, R. Jain, S. Fahmy, R. Vandalore, R. Kalyanaraman, "Design issues for providing minimum rate guarantees to the ATM unspecified bit rate service," *ATM Workshop Proceedings, IEEE*, pp.169-175, 1998.



**김 관 응**

e-mail : watcherbear@hotmail.com  
1996년 전북대학교 전자공학과(학사)  
1998년 전북대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
2002년 전북대학교 대학원 전자공학과  
(공학박사)

2002년~2004년 한국표준과학연구원 Post-doc.  
2004년~현재 Post-doc, University of Haute Alsace  
관심분야: Resouce management, Mobile Ad-hoc network



**배 성 환**

e-mail : hlu008@hanmail.net  
1993년 전북대학교 전자공학과(학사)  
1995년 전북대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
2000년 전북대학교 대학원 전자공학과  
(공학박사)

2000년~현재 한려대학교 멀티미디어정보통신공학과 교수  
관심분야: 통신시스템 설계, ASIC 테스트