

TCP/IP에서 퍼지 논리를 사용한 선택적 셀 제거 방식에 관한 연구 (Study of Selective Cell Drop Scheme using Fuzzy Logic on TCP/IP)

조 미 령* 양 성 현** 이 상 훈*** 강 준 길****
(Mee-Ryoung Cho) (Sung-Hyun Yang) (Sang-Hoon Lee) (June-Gill Kang)

요 약

본 논문은 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 서비스 분류 중 UBR(Unspecified Bit Rate)과 ABR(Available Bit Rate)상에서의 인터넷 TCP/IP(Transmission Control Protocol-Internet Protocol) 트래픽에 관한 연구이다. 퍼지 논리 예측은 트래픽 처리량의 효율성과 공정성을 개선하는 데 사용된다.

본 논문에서는 TCP/IP에서 셀 제거 방식에 기반한 UBR 서비스 버퍼 방식으로 퍼지 논리를 사용하였다. 이는 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식이라고 부른다. 이 방식의 주요 특징은 스위치의 차후 예측 버퍼 상태에 따라서 동적으로 새로 들어오는 패킷을 수락할 것인지 제거할 것인지를 결정한다는 것이다. 이는 제거 인수의 산출을 위해 퍼지 논리 예측의 사용으로 수행된다. 패킷 제거 결정은 이러한 제거 인수와 예측 초기값에 의해 결정된다. 시뮬레이션을 수행하여 제안된 방식이 TCP/IP의 효율성과 공정성 측면에서 현저하게 개선된 것을 알 수 있다.

ABR 서비스에서 TCP/IP를 연구하기 위하여 퍼지 논리 ABR 서비스 버퍼 관리 방식을 이전의 연구로부터 근접하거나 정확한 공정을 계산 ER(Explicit cell Rate) 스위치 알고리즘에 적용하였다. 그리하여 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 TCP 패킷 손실율이 0이고, 퍼지 논리 제어 방식이 최대한의 효과를 내며 작은 버퍼 크기로 완벽한 공정성을 갖는 것을 보여준다. 퍼지 논리 제어 방식은 VBR 트래픽과 혼용되었을 때 낮은 셀 손실을 갖고 보다 높은 효율성을 보여준다.

ABSTRACT

This paper presents some studies on the Internet TCP/IP(Transmission Control Protocol-Internet Protocol) traffic over ATM(Asynchronous Transfer Mode) UBR(Unspecified Bit Rate) and ABR(Available Bit Rate) classes of service. Fuzzy logic prediction has been used to improve the efficiency and fairness of traffic throughput.

For TCP/IP over UBR, a novel fuzzy logic based cell dropping scheme is presented. This is referred to as fuzzy logic selective cell drop (FSCD). A key feature of the scheme is its ability to accept or drop a new incoming packet dynamically based on the predicted future buffer condition in the switch.

This is achieved by using fuzzy logic prediction for the production of a drop factor. Packet dropping decision is then based on this drop factor and a predefined threshold value. Simulation results show that the proposed scheme significantly improves TCP/IP efficiency and fairness.

* 정희원 : 광운대학교 대학원 전자공학과

** 정희원 : 광운대학교 전자공학부 교수

*** 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수

**** 정희원 : 광운대학교 전자공학부 교수

논문접수 : 2002. 1. 12.

심사완료 : 2002. 1. 24.

To study TCP/IP over ABR, we applied the fuzzy logic ABR service buffer management scheme from our previous work to both approximate and exact fair rate computation ER(Explicit cell Rate) switch algorithms. We then compared the performance of the fuzzy logic control with conventional schemes. Simulation results show that on zero TCP packet loss, the fuzzy logic control scheme achieves maximum efficiency and perfect fairness with a smaller buffer size. When mixed with VBR traffic, the fuzzy logic control scheme achieves higher efficiency with lower cell loss. Keywords fuzzy logic prediction, TCP/IP, ATM-UBR, ATM-ABR, packet drop policies, quality of service.

1. 서론

ABR 서비스 방식에서 QoS는 폐쇄 루프 트래픽 제어에 가장 많이 사용된다. 스위치는 소스로 퍼드백 정보를 전송하도록 표시된 RM(Resource Management) 셀의 ER 필드에 ER 표시를 한다.

ABR 서비스의 TCP 성능면에서 퍼지 논리 예측과 제어의 효과는 본 논문에서 또한 연구되었다. [1]에서 묘사된 알고리즘은 ABR 트래픽 제어를 위하여 여기에서 적용된다. 그리하여 TCP 성능은 기존의 스위치 알고리즘들과 비교된다. UBR과 ABR 서비스 방식은 데이터 트래픽 전송에 사용될 수 있다. 대부분의 TCP/IP 응용에서 이러한 서비스들을 사용하리라 예측된다. 그러나 이들 서비스에서 제한된 버퍼를 갖는 TCP의 동작은 낮은 처리량과 공정성을 갖는다.[2]

UBR 서비스 방식에서는 특별한 QoS가 전혀 제공되지 않을 것이다. 폭주 상태인 동안에 패킷들은 스위치에서 제거되며 소스는 그들의 전송율이 감소된다고 예측하지 않는다. 폭주 제어는 TCP와 같은 높은 수준의 프로토콜에 의해 조정된다. 최근에 TCP 처리량과 공정성을 더욱 개선하기 위하여 다소 정교한 패킷 제거 방식이 제안되었다.

셀 제거 방식에서 기존에는 셀 도착 예측을 사용하였으나 여기에서는 퍼지 논리 예측 기법을 갖는 선택적인 셀 제거 인수 생성기를 사용한 최신 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식을 제안하여, TCP/IP에서 전통적인 기법과 셀 제거 방식의 비교에 의해 연구된다.[3][4]

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EPRCA(Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 방식에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 제안된 선택적 셀 제거 방식을 자세히 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이션

모델링에 관하여 서술하였으며, 5장에서는 네트워크 시뮬레이션의 결과를 고찰하였다. 그리고 6장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 언급하였다.

2. EPRCA 방식

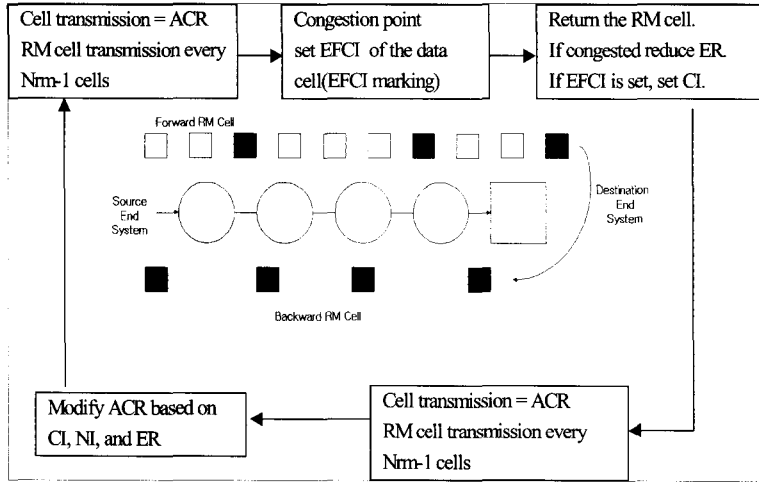
EPRCA 방식은 기존의 PRCA 방식에 공정성 계산을 통한 ER 개념을 도입하여 VC 간의 불공평성을 개선한 방식으로 가상 경로마다 큐를 관리하지 않고 각 가상경로의 적정한 전송율을 계산하는 것이다.[5] 이 방식은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 송신원은 N개의 데이터 셀을 전송한 다음 하나의 RM 셀을 전송하고 이 RM 셀을 역방향으로 받기 전에는 각각의 데이터 셀을 전송한 후에 일정 비율로 전송속도를 감소시킨다.[6][7]

송신원에서 전송한 RM 셀이 수신원을 경유하여 수신되면 RM 셀 필드에 있는 CI 비트를 검사하여 0이면 지금까지 감소되었던 전송속도를 보상하기 위하여 ACR(Allowed Cell Rate)을 증가시키고 1이면 ACR을 감소시키는 방법으로 폭주를 제어한다.

송신원이 역방향 RM 셀을 수신하면 ACR을 MCR과 PCR 사이에서 계산하는 과정은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{IF CI} &= 0 \text{ (정상상태)} \\ \text{ACR} &= \text{Max}(\text{PCR} \times \text{RIF}, \text{MCR}) \\ \text{IF CI} &= 1 \text{ (폭주상태)} \\ \text{ACR} &= \text{Max}(\text{ACR} \times \text{RDF}, \text{MCR}) \\ \text{ACR} &= \text{Min}(\text{ACR}, \text{ER}, \text{MAX}) \end{aligned}$$

여기에서 ACR은 망이 허용하는 단말 전송속도의 상한값이고 RIF는 ACR의 증가계수, RDF는 ACR의 감소계수이다. 한편 수신된 RM 셀이 CI 비트가 1로



[그림 1] ATM 모델
[Fig. 1] ATM model

설정된 상태로 수신되었을 경우에는 ACR은 연결 설정 시에 결정된 RDF 값과 현재의 ACR을 곱하여 ACR을 감소시키는데 MCR 이하로 감소시킬 수는 없다.

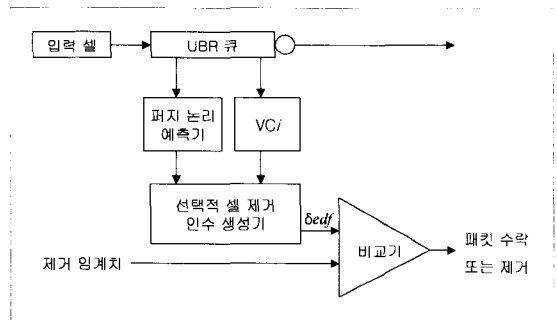
EPRCA 스위치는 공정성 계산하기 위해 먼저 RM셀의 CCR값에서 지수 가중 평균(Exponential Weighted Averaging) 계산 방법을 이용하여 MACR을 구하고 Fair Share는 구해진 MACR을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$\text{MACR} = (1 - AV) \text{MACR} + AV \times \text{CCR}$$

$$\text{Fair Share} = \text{SW_DPF} \times \text{MAC}$$

3. 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식

TCP 소스들 사이에서 공정한 버퍼의 할당을 보장하기 위하여 공정성 개념은 기존의 방식이 적용되었다. 각 VC의 공정한 분배는 활동중인 여러 VC들에 대한 버퍼 점유의 트랙 보존에 의해 유지된다. 따라서 VC의 적재율은 공정한 버퍼 할당을 초과하지 않도록 보장한다. 이는 버퍼내의 VC와 다수의 셀 비율이 같다고 하며 [그림 2]와 같이 퍼지 논리 선택적 셀 제거기를 모델링한다.[8][9][10]



[그림 2] 퍼지 논리 선택적 셀 제거 제어기
[Fig. 2] The Fuzzy Logic Selective Cell Drop Controller

그리고 UBR 큐 왕복 지연을 예측한다. 이러한 VC의 적재율과 함께 하는 예측 큐 값은 선택적 셀 제거 인수(δ_{cdf})를 생성하는 퍼지 논리 인수 생성기에 제공된다. 이러한 인수는 이미 정의된 제거 초기값과 비교된다. 만약 그 값이 초기값보다 크다면 패킷은 제거되며 그렇지 않다면 패킷은 수락된다.

[그림 2]에서 보여지듯이 퍼지 논리 선택적 셀 제거 인수 생성기는 퍼지 논리 예측기와 통합된다. 선택적 셀 제거 인수(δ_{cdf})의 출력값은 두 개의 입력값 즉, 예측 UBR 큐 길이와 VC의 적재율 그리고 큐 척에 저장된 임계값 정보 등에 따라 좌우된다.

입력과 출력 멤버십 함수를 위하여 삼각형과 사각형 모양이 채택되었다. δ_{edr} 를 추정하기 위한 퍼지 임계값 규칙의 설계에는 아래와 같은 사항들을 고려해야 한다.

가. 심각한 폭주 상황 : 예측 큐 길이가 빠르게 증가하고 셀이 오버플로우되면 특수한 VC의 적재율에 관계없이 새로 들어오는 패킷을 제거하기 위하여 선택적 셀 제거 인수는 커지게 될 것이다.

다. 가벼운 적재 상황 : 예측 큐 길이가 작으므로 선택적 셀 제거 인수는 낮아질 것이며 어떠한 셀도 제거되지 않는다.

퍼지 시스템이 두 개의 입력을 갖고 각각 세 개의 멤버십 함수를 가지므로 총 9개의 임계값 규칙을 갖게 된다. 최적화 이후 7개의 독립적인 규칙이 채택되었다. <표 1>은 퍼지 논리 선택적 셀 제거 제어를 위한 임계값 규칙을 나타낸다.

<표 1> 퍼지 논리 선택적 셀 제거 제어를 위한 임계값 규칙

<Table 1> Threshold Rules for the Fuzzy Logic Selective Cell Drop Controller

pq(predicted UBR queue)	적재율	δ_{edr}
높음	높음	높음
높음	중간 또는 낮음	적당히 높음
중간	높음	적당히 높음
중간	중간	중간
중간	낮음	적당히 낮음
낮음	높음	적당히 낮음
낮음	중간 또는 낮음	낮음

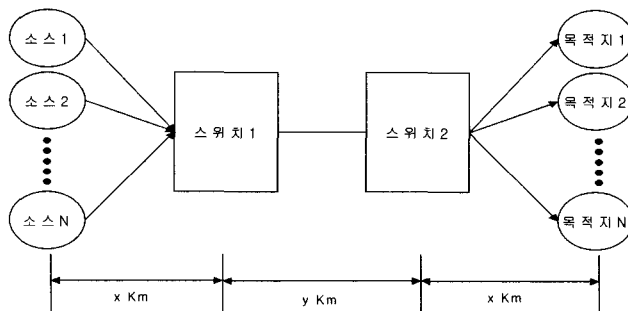
나. 적당한 적재 상황 : 예측 큐 길이는 적절하게 증가한다. 만약 VC의 적재율이 높아지면 선택적 셀 제거 인수는 낮은 적재율을 갖는 VC의 패킷보다는 오히려 그 VC로부터 새로 들어오는 패킷을 제거하기 위하여 적당히 커지게 될 것이다.

4. 시뮬레이션 모델링

이번 장에서, 시뮬레이션 결과는 퍼지 논리 제어 방식과 기존 제어 방식의 장점에서 UBR과 ABR 서비스의 TCP/IP 성능을 비교 분석한다.

시뮬레이션 모델과 파라미터의 설정은 [그림 3]과 <표 2>에서 각각 기술된다. UBR 서비스 방식에서 TCP의 성능은 제안된 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식과 잘 알려진 EPRCA 방식과의 비교에 의해 평가되었다. 그리고 ABR 서비스 방식에서 TCP의 성능은 두 개의 ABR 스위치 알고리즘에서 제안된 퍼지 논리 버퍼 관리 방식과 기존의 제어 방식과의 비교하였다.[11][12]

시뮬레이션에서 사용된 모델은 스위치 사이의 단일 병목 링크를 공유하는 N peer-to-peer 접속 네트워크이다. 모든 트래픽은 양방향성을 갖는다. TCP 소스는 기본적인 TCP 윈도우 기반 흐름 제어 프로토콜을 실행한다. 이것은 느린 출발과 폭주 회피 그리고 재전송을 포함한다.



[그림 3] 시뮬레이션 모델

[Fig. 3] Simulation Model

<표 2> 시뮬레이션 파라미터
<Table 2> Simulation Parameters

분류	파라미터	값
TCP 소스	최대 세그먼트 크기	9140 또는 1460 byte
	타이머 단위	100 msec
	수신기 윈도우 크기	64 Kbyte
	ACK 지연 타이머	무설정
링크	속도	155.52 Mbps
	전파 지연	5 μ s/Km
	거리(x,y:x)	1:1:1, 10:100:10 Km
ABR 종단 시스템	PCR	155.52 Mbps
	ICR	15.52 Mbps
	버퍼 크기	무한대
ABR 스위치	출력 버퍼 크기	200-1400 셀 또는 ∞
UBR 종단 시스템	버퍼 크기	무한대
UBR 스위치	버퍼 크기, K	1000, 2000, 3000 셀, ∞
	최소 제거 초기값, R	0.9
	선형 인수, Z	0.8

5. 결과 고찰

5.1 ABR 서비스 방식에서의 TCP/IP

이번 장에서는 제안된 퍼지 논리 제어 방식과 기존 방식의 장점에서 ABR 서비스의 TCP/IP 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 제안된 방식의 성능은 두 개의 스위치 알고리즘에서 기존의 제어 방식과 비교되었다.

모든 경우의 시뮬레이션을 위하여 스위치간의 거리는 100 Km로 그리고 소스와 목적지를 스위치에 접속시키는 링크는 10 Km로 가정한다. 이것은 WAN 구조이다. ATM 종단 시스템에서 ICR(Initial Cell Rate)은 링크율의 10%로 설정한다. TCP/IP 세그먼트 크기는 9140 바이트이다. ABR 서비스의 TCP/IP 효율성과 공정성은 [12]에 있는 수식을 사용하여 계산된다.

5.1.1 TCP/IP 패킷 무손실

5개의 TCP/IP 소스와 목적지는 [그림 3]의 네트워크 구성과 같이 적용된다. 셀 무손실율에서 버퍼 요구를 연구하기 위하여 스위치에서 무제한적인 ABR 큐 길이를 가정하였다.

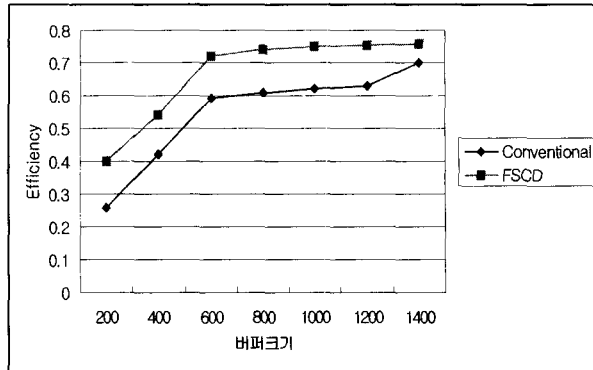
<표 3>은 기존의 방식과 100% 처리량과 완벽한 공정성을 수행하는 퍼지 논리 제어 방식에서의 버퍼 요구를 보여준다. 최대 큐 길이는 ABR 종단 시스템과 피드백 경로의 거리 그리고 큐 제어 함수에서 ICR에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 표로부터 퍼지 논리 제어 방식은 기존의 방식과 비교하여 더 낮은 최대값과 평균 큐 길이를 갖는다. 이것은 퍼지 논리 제어 방식이 최대한의 효율성과 공정성을 얻기 위하여 더 적은 버퍼 크기를 요구한다는 것을 의미한다.

<표 3> 무손실을 위한 버퍼 요구
<Table 3> Buffer Requirements for Zero Loss

큐 길이(셀)	기존	퍼지 논리
최대	1328	316
평균	377	309

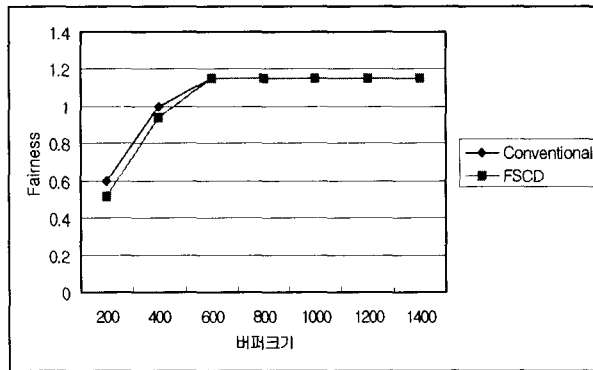
향후 제한된 버퍼 크기를 갖는 스위치에서 효율성과 공정성 그리고 셀 손실율에 관한 연구를 위하여 ABR 서비스 출력 버퍼 크기는 200에서 1400으로 다양화된다. [그림 4] - [그림 7]은 다양한 버퍼 크기를 갖는 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식에서 ABR 서비스의 TCP 성능을 보여준다. 서로 다른 선의 형태는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 점선은 기존의 방식이며 실선은 퍼지 논리 제어 방식이다.

기존의 방식과 제안한 방식의 효율성, 공정성, 셀 지연 변이 그리고 셀 손실에 관한 성능 분석이 차례대로 [그림 4] - [그림 7]에 보여진다. [그림 4]은 두 방식이 셀 무손실에 도달하기 전에 퍼지 논리 제어 방식이 기존의 방식에 비해 더 높은 효율성을 얻는 것을 보여준다. 이것은 낮은 셀 지연 변이 때문이며 낮은 셀 손실은 [그림 6]과 [그림 7]에 각각 나타난다. [그림 5]은 퍼지 논리 제어를 갖는 스위치 알고리즘이 셀 무손실을 갖는 완벽한 공정성을 얻기 전에 더 나은 효율을 갖도록 공정성 측면에서 근소한 trade-off를 갖는 것을 보여준다.



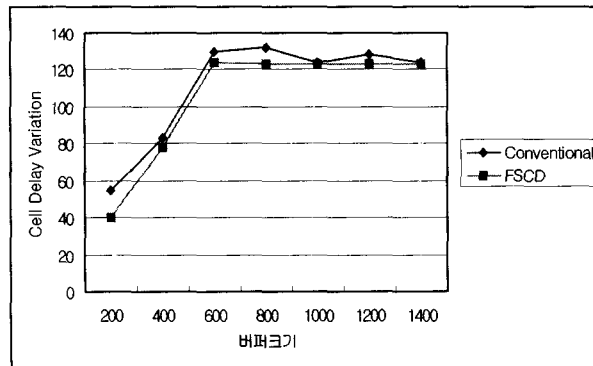
[그림 4] 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식의 효율성 비교

[Fig. 4] Efficiency Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Control Schemes



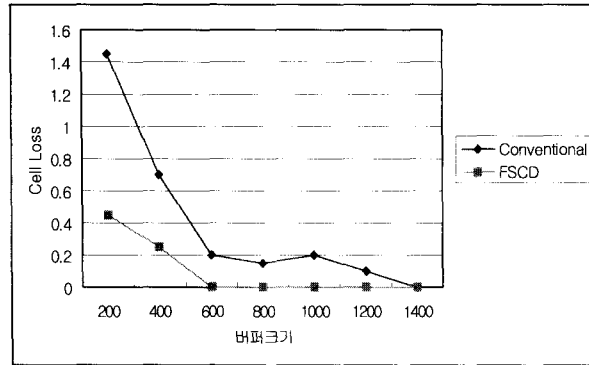
[그림 5] 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식의 공정성 비교

[Fig. 5] Fairness Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Control Schemes



[그림 6] 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식의 셀 지연 변이에 관한 비교

[Fig. 6] Cell Delay Variation Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Control Schemes



[그림 7] 기존의 방식과 퍼지 논리 제어 방식의 셀 손실 비교

[Fig. 7] Cell Loss Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Control Schemes

5.2 UBR 서비스 방식에서의 TCP/IP

5.2.1 TCP/IP 패킷 무손실

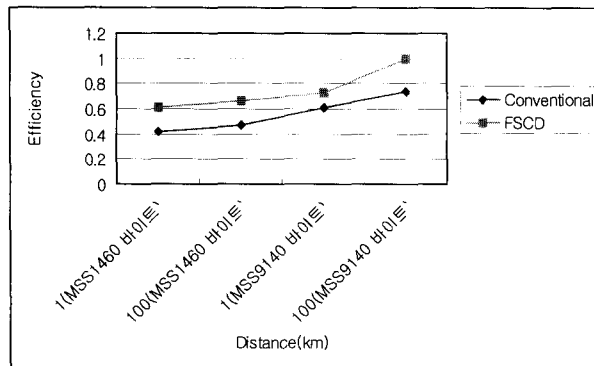
셀 무손실을 수행하기 위하여 스위치에서 무제한적인 UBR 서비스 버퍼링이 가정되었다. <표 4>는 9140 바이트의 세그먼트 크기를 사용한 UBR 서비스의 TCP 동작을 위한 버퍼의 요구를 보여준다. 모든 접속은 100% 처리량과 완벽한 공정성을 수행한다. 1 Km 링크 거리를 위하여 최대 큐 길이는 6288 셀 = 6288×48 바이트 $\approx 301,824$ 바이트이다. 이것은 5개 TCP 접속의 윈도우 크기의 합 즉, 5×64 Kbytes = 320,000 바이트와 대략적으로 일치한다.

링크 거리의 증가에 따라 최대 큐 길이는 감소한다. 이것은 스위치가 다음 데이터 윈도우를 받기 전에 버퍼를 클리어하기 위하여 보다 더욱 큰 왕복 시간을 요구하기 때문이다.

<표 4> 무손실을 위한 버퍼 요구

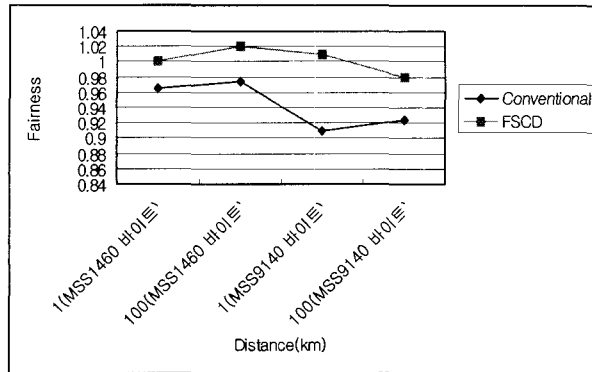
<Table 4> Buffer Requirements for Zero Loss
(QMax : Maximum Queue Length)

링크(Km)	QMax(셀)	효율성	공정성
1	6288	1	1
100	5860	1	1



[그림 8] 기존의 방식과 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식의 효율성 비교

[Fig. 8] Efficiency Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Selective Cell Drop Schemes



[그림 9] 기존의 방식과 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식의 공정성 비교

[Fig. 9] Fairness Comparison of the Conventional and the Fuzzy Logic Selective Cell Drop Schemes

5.2.2 TCP/IP 효율성과 공정성 평가

서로 다른 링크 거리와 버퍼 크기 그리고 TCP/IP 세그먼트 크기는 기존의 방식과 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식 모두에서 UBR 서비스의 TCP 성능을 설명하는데 사용된다. [그림 8]와 [그림 9]는 서로 다른 버퍼 크기의 효율성과 공정성 값의 평균에 의해 얻어진 결과를 각각 보여준다.

그림에서 보여지는 것처럼 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식은 효율성과 공정성이라는 양쪽 모두의 측면에서 일관되게 개선되었다. 이것은 퍼지 논리 예측기가 UBR 큐 길이 왕복 지연을 미리 산출했기 때문이며 따라서 버퍼는 오버플로우되거나 텅 빈 것보다 작게 된다. 또한 "soft" 계산은 기존의 방식에서의 "hard" 초기값과는 반대로 더욱 정확한 파라미터(예를 들면 버퍼 점유와 적재율과 같은)의 평가를 제공한다. 그림은 또한 퍼지 논리 선택적 셀 제거 방식이 공정성 측면에서 trade-off 없이 더 높은 효율성을 얻는 것을 보여준다. 게다가 공정성 인덱스는 대부분의 경우에서 0.97 이상을 유지한다. 반면에 기존의 패킷 제거 방식은 일관되게 수행되지 않는다. 예를 들어, FBA 방식은 보다 적은 TCP 세그먼트 크기를 가지고 SD 방식보다 더 나은 성과를 얻지만 대부분의 경우에 더 큰 세그먼트 크기가 사용된다.

보다 자세한 결과를 나타내지는 않았지만 보다 큰 버퍼 크기를 갖는 공정성과 효율성은 개선된다. 버퍼 크기가 TCP 접속의 윈도우 크기의 합에 의존

하므로 많은 셀에서 보다 큰 버퍼 크기가 버퍼가 오버플로우되기 전에 수락된다. 따라서 효율성은 버퍼 크기의 증가로 개선된다. 평균적으로 3000 셀의 버퍼 크기는 효율성을 1000 셀의 버퍼 크기와 비교하여 약 40% 정도 개선한다.

또한 효율성은 특히 버퍼 크기가 클 때 보다 큰 세그먼트의 크기 때문에 개선된다. 세그먼트의 크기가 클 때 보다 많은 데이터가 목적지로 전송될 수 있다. 이것은 또한 링크가 모두 사용될 경우에 데이터가 대기할 수 있도록 보다 큰 버퍼가 요구된다는 것을 의미한다. 따라서 버퍼는 보다 큰 세그먼트 크기에서 더욱 잘 사용된다. 그러므로 효율성은 버퍼 크기가 증가할 때 증가한다. 그러나 공정성은 큰 세그먼트 크기에서 더 낮다. 이것은 TCP 동기화 효과일 것이다. 어떤 접속들은 버퍼가 오버플로우 되자마자 다른 접속들이 그들의 세그먼트를 제거하는 동안 전체 세그먼트의 윈도우를 보낼 수 있다.

6. 결론

본 논문은 UBR의 TCP를 위하여 FSCD 방식을 보여준다. 이 방식의 주된 특징은 퍼지 논리 예측과 제어의 응용이다. 서로 다른 버퍼 크기와 링크 거리 그리고 세그먼트 크기를 가지고 제안된 방식은 기존의 다양한 방식에 비해 더 높은 TCP 효율성과 보다 나은 공정성을 얻을 수 있다.

또한 ABR 서비스 방식의 TCP를 위한 퍼지 논리 ABR 서비스 버퍼 관리 방식은 기존의 방식보다 훨씬 나은 성과를 얻는다. 즉, 더 작은 버퍼 크기를 가지고 최대의 효율성과 공정성을 얻을 수 있다. 셀 무손실하에서 UBR과 ABR의 TCP는 최대의 효율성과 완벽한 공정성을 얻을 수 있다. 그러나 UBR의 TCP는 보다 큰 버퍼 크기를 요구한다. 앞으로 퍼지 논리 제어 방식은 더욱 높은 효율성과 보다 낮은 셀 손실을 얻기 위하여 VBR 트래픽과 혼용하는 방안을 연구해야 할 것이다.

※ 참고문헌

- [1] H. H. Lim and B. Qiu. Fuzzy Logic Target Utilization and Prediction for Traffic Control. Proc. IEEE GLOBECOM 2000, San Francisco, USA, vol.3:pp. 1644-1648, Nov 2000.
- [2] R. Goyal, R. Jain, S. Kalyanaraman, S. Fahmy, and B. Vandalore. Improving the Performance of TCP over the ATM-UBR service. Computer Communications, vol. 21(no. 10):pp. 898 911, Jul 1998.
- [3] B. Qiu. The Application of Fuzzy Prediction for the Improvement of QoS Performance. Proc. IEEE ICC 98, Atlanta, Georgia, USA, vol. 3:pp. 1769-1773, Jun 1998.
- [4] B.-K. Kim, C. Thompson: Optimal Feedback Control of ABR Traffic in ATM Networks; Proc. of the IEEE International Conference on Communications (ICC 98); Atlanta; June 1998.
- [5] H. Özbay, S. Kalyanaraman, A. Iftar: On Rate-Based Congestion Control in High Speed Networks: Design of an H-infinity Based Flow Controller for Single Bottleneck; Proceedings of the American Control Conference; Philadelphia; June 1998.
- [6] C. R. Rohrs, R. A. Berry: A Linear Control Approach to Explicit Rate Feedback in ATM Networks; Proceedings of INFOCOM 97; Kobe; April 1997.
- [7] Sung Hyun Cho, Yoon Tak Oh, Sung Han Park, "A Dynamic Cell Scheduling Algorithm for Efficient Allocation of Bandwidth on ATM Networks", 전자공학회논문지 제 23호, March, 1998.
- [8] R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy, and R. Viswanathan. ERICA Switch Algorithm: A Complete Description. ATM Forum contribution 96-1172, Aug 1996.
- [9] J. J. Tirtowidjojo and B. Qiu. An Improved Fair Share Calculation and Updating Scheme for ABR Service. Proc. IEEE ISPACS 98, vol. 2:pp.933 938, Nov 1998.
- [10] ATM Forum Technical Committee: Traffic Management Specification, Version 4.1; March 1999.
- [11] A. Kolarov, G. Ramamurthy: A Control Theoretic Approach to the Design of an Explicit Rate Controller for ABR Service; IEEE/ACM Transactions on Networking; Vol. 7; No.5; October 1999.
- [12] S. Kalyanaraman. Traffic Management for the Available Bit Rate (ABR) Service in Asynchronous Transfer Mode (ATM) Networks. PhD Thesis, 1997.

조 미 령



1997년 2월 방송통신대
(독학사) 전자계산학
학위 취득
1997년 8월 ~ 1999년 7월
광운대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
2000년 3월 ~ 2002년 2월
광운대학교 대학원
전자공학과 수료

강 준 길



1968 광운대학교 전자공학과
졸업
1970 연세대학교 전자공학과
(석사)
1979 연세대학교 전자공학과
(박사)
1980 미국 MIT 전자연구소
직원연구원
1982 국제기능올림픽
공업전자 심사관(현)
1985 광운대학교
전자기술연구소 소장
1992 광운대학교 공과대학
학장
1994~1997 광운대학교 총장
1996 한국 통신학회 감사(현)

양 성 현



1983년 2월 광운대학교
전기와 졸업 (공학사)
1987년 8월 광운대학교
대학원 전기과 졸업
(공학석사)
1992년 2월 광운대학교
대학원 전기과 졸업
(공학박사)
1996-1998년:
Boston University,
Reserch scientist
1991년 ~ 현재 광운대학교
전자공학부 교수
E-mail :
leesh58@mail.gwu.ac.kr

이 상 훈



1983년 2월 광운대학교 응용
전자과 졸업 (공학사)
1987년 8월 광운대학교
대학원 전자과 졸업
(공학석사)
1992년 2월 광운대학교
대학원 전자과 졸업
(공학박사)
1991년 ~ 현재 광운대학교
전자공학부 교수
E-mail :
leesh58@mail.gwu.ac.kr