2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

차등화 서비스 네트워크의 능동 큐 관리 기법을 위한 비선형 혼잡 제어기

박기광, 장진수, 고진혁, 양해원
한양대학교 전자전기제어계측공학과

Nonlinear Congestion Controller for Active Queue Management of Differentiated Services Networks

Ki Kwang Park, Jin Su Jang, Jin Hyeok Ko, Hai Won Yang
Dept. of Elec. Elec. Con. & Inst. Eng. Hanyang Univ.

Abstract - In this paper, we propose nonlinear congestion controller for active queue management of differentiated-services networks. Two important issues in differentiated-services architecture are bandwidth guarantee and fair sharing of unsubscribed bandwidth among TCP flows with and without bandwidth reservation. The nonlinear congestion controller was composed fuzzy logic controller and state feedback controller. The nonlinear congestion controller methodology has been applied to a TCP network. We use NS-2 simulation to demonstrate that the proposed control methodology achieves the desired behavior of the network, and possesses important attributes.

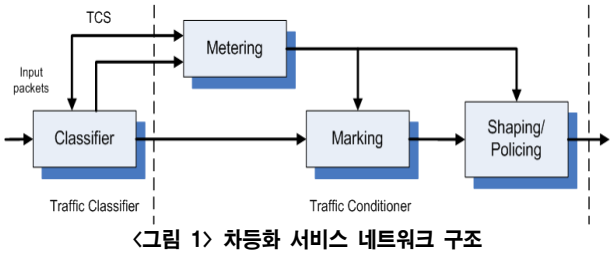
1. 서 론

차등화 서비스 네트워크는 음성등과 같이 데이터 흐름이 끊어지면 안 되는 비교적 특별한 형식의 트래픽에 대해, 다른 종류의 일반 트래픽에 비해 우선권을 갖도록 네트워크의 트래픽을 등급별로 지정하고, 제어하기위한 프로토콜이다. 차등화 서비스 네트워크는 802.1p에서의 태그를 이용 그리고 TOS(Type of Services)등과 같은 초창기 방식과는 달리, 주어진 네트워크의 패킷을 어떻게 전달할 것인지를 결정하기 위해 단순히 우선순위를 위한 태그를 붙이는 대신, 좀더 복잡한 정책이나 규칙문을 사용한다. IP 헤더 내 DSCP(DiffServ Code Point)라는 여섯 비트 길이의 필드가 주어진 패킷의 흐름에 대해 홉당 움직임을 지정한다[1]. 차등화 서비스 네트워크의 혼잡 제어를 위한 능동 큐 관리기법들은 RED(Random Early Detection), CAC(Call Admission Control), AF(Assured Forwarding)위한 퍼지-RED, EF(Expedited Forwarding)을 위한 상태궤환 이론들이 제시되어 왔다. 그러나 차등화 서비스 네트워크의 부분별 혼잡제어 이론들은 차등화 서비스의 두 가지 중요 접근점들 중에 대역폭 이득에 대한 것이다. 따라서 본 논문은 두 가지 공정한 서비스별 확고한 분배와 대역폭 이득간의 상호 타협적인 제어기 설계를 통하여 안정적인 차등화 서비스 네트워크의 능동 큐 관리 기법을 제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 차등화 서비스 네트워크의 구조와 문제점을 살펴본다. 제 3장에서는 EF 등급을 위한 제어기 설계, 제 4장에서는 AF 등급을 위한 제어기 설계 마지막으로 5장에서는 본 논문에 대한 시뮬레이션 결과와 6장에서는 결론 및 추후 연구에 대해 기술한다.

2. 차등화 서비스네트워크의 구조 및 문제점

2.1 차등화 서비스 네트워크의 구조

<그림 1>에서 보듯이 경계 라우터 기능은 SLA(Service Level Agreement)에 관한 상태 정보 유지, 패킷을 구별, 큐잉, 트래픽 조절, DSCP 코드입력과 같이 간단히 소개 될 수 있으며 이러한 모든 기능은 SLS와 TCS와 함께 링크 되어 사용되어진다. 트래픽을 중심으로 살펴보면 DS도메인에 들어온 트래픽은 경계 라우터에서 구분자에 SLA를 참조하여 먼저 구별 되고 트랙픽 측정과 쉐이핑 그리고 정책에 의해 트래픽이 조절된다. 그리고 계약에 적합한 BA(Behavior Aggregates)를 할당 받도록 DSCP를 부여 받는다. 차등화 서비스 네트워크의 최고 수준의 서비스는 EF로써 낮은 손실, 낮은 지연, 낮은 지터 그리고 확고히 보장된 대역폭을 요구하는 서비스들 수준에 적합한 PHB(Per Hop Behavior)이다. AF는 TCP를 기반으로 하는 트래픽을 위한 PHB로서 크게 4개의 등급으로 구분되며 각 등급은 물리적으로 자신의 큐에 서비스됨으로써 각기 독립적인 대역폭 관리가 가능하다.



<그림 1> 차등화 서비스 네트워크 구조

2.2 차등화 서비스 네트워크의 쟁점 및 문제점

현재 차등화 서비스 네트워크의 가장 큰 쟁점은 QoS를 보장 받으면서 각 등급별 서비스가 안정적으로 이루어지는 것이다. 그러나 현재까지의 여러 제안들은 전체적인 등급별 제어기 설계가 아닌 부분별 등급 제어기를 제안해 왔다. EF 등급을 위한 상태궤환 제어기의 문제점은 제어입력이 항상 양의 값을 가져야 한다는 것이다. 이것은 증가하던 트래픽이 윈도우즈 아웃이나 트래픽 감소로 인하여 제어입력이 음의 값을 가져야 할 때 제어성능이 좋지 못하다는 것이다. 또한 AF 등급을 위한 퍼지-RED 설계는 EF 등급에서 먼저 대역폭 보장을 받은 후 트래픽의 양에 따라 RED를 수행함에 있어서 경험적 지식을 이용하는 것이다. 그러나 이 경우 제어입력이 비선형적 트래픽이고 또한 EF 등급은 무조건 대역폭을 보장 받았다는 전제로 EF 등급의 대역폭을 일정한 값으로 설정하기 때문에 효율적인 면에서 좋지 못하다. 따라서 다음 장에서 다루고자 하는 것은 이러한 현재의 차등화 서비스 네트워크의 문제점을 개선하고자 함이다.

3. EF 등급을 위한 제어기 설계

EF 등급을 위한 제어기로서 비선형 혼잡 제어기와 트래픽 양에 따른 가중치를 부여함으로서 큐 설계를 하였다. 비선형 혼잡 제어기는 fluid flow 확률 모델과 M/M/1 큐 이론을 기본 설계 모형으로 하였다.

현재 큐에 머물고 있는 트래픽 양을 $x(t)$ $0 \le x(t) \le x_{buffer\ size}$ 이라 할 때 큐의 변화량을 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[3].

$$\dot{x}(t) = -f_{output}(t) + f_{input}(t). \tag{1}$$

$$\dot{x}(t) = -\frac{x(t)}{1+x(t)}C(t) + \lambda(t), \quad x(0) = x_0 \tag{2}$$

식(2)는 M/M/1 큐 이론을 접목한 시스템의 정상상태를 표현한 식이다. $C(t)$는 제어입력, $0 \le C(t) \le C_{server}$, $\lambda(t)$는 $0 \le \lambda(t) \le C_{server}$.

따라서 EF 등급의 오차 동적 방정식은 식 (3)과 같이 표현된다.

$\bar{x}(t) = x(t) - x_d(t)$, $\dot{\bar{x}}(t) = \dot{x}(t)$, x_d는 큐가 지속적으로 유지해야 할 기준치다.

$$\dot{\bar{x}}(t) = -C(t)\left(\frac{x(t)}{1+x(t)}\right) + \lambda(t). \tag{3}$$

$$C(t) = \rho(t)\frac{1+x(t)}{x(t)}[\alpha\bar{x}(t) - K]. \tag{4}$$

α, K 는 설계 파라미터이다.

4. AF 등급을 위한 제어기 설계

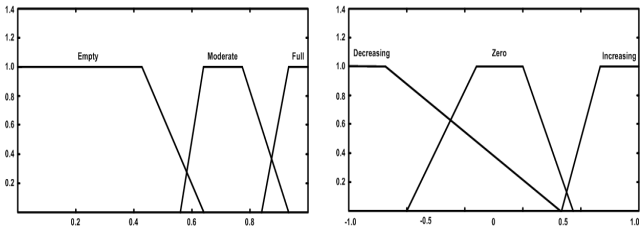
AF 등급을 위한 제어기로서 트래픽의 손실을 방지하기 위한 방법으로 퍼지 논리 제어기를 사용하였다. 제어입력은 모르는 입력 트래픽이며 큐에 들어오기 전 drop을 통하여 트래픽 손실을 방지하는 것이 목적이다. 퍼지 입력값은 큐의 머무는 정규화 양과 큐에서 변화율이며 퍼지의 출력은 drop 확률이다. <그림 2. 3>은 그에 따르는 입력 퍼지 멤버쉽 함수이다. <그림 4>는 출력 멤버쉽 함수이고, 비퍼지화 방법은 중앙평균법을 사용하였다.

<표 1>퍼지 언어화 법칙(AF)

	Decreasing	Zero	Increasing
Empty	0	0	0
Moderate	Zero	Zero	Low
Full	Low	Low	High

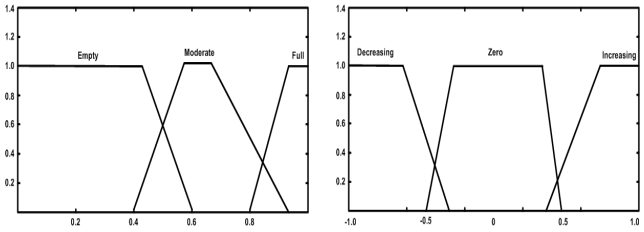
<표 2>퍼지 언어화 법칙(BE)

	Decreasing	Zero	Increasing
Empty	0	0	0
Moderate	Zero	Low	Midium
Full	Medium	High	High



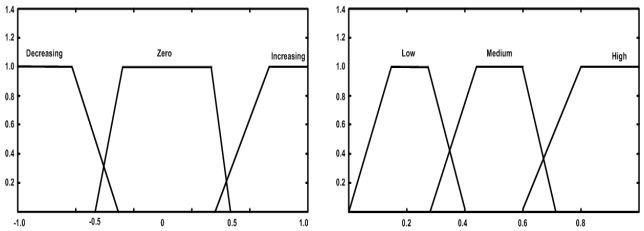
(a) 큐의 정규화 양 (b) 큐의 변화율

<그림 2> AF 등급의 입력 멤버쉽 함수



(a) 큐의 정규화 양 (b) 큐의 변화율

<그림 3> BE 등급의 입력 멤버쉽 함수

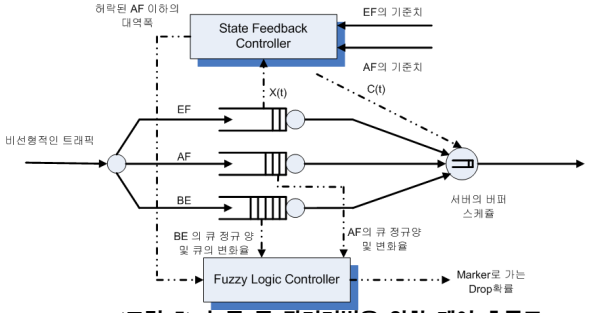


(a) AF 등급 출력 (b) BE 등급 출력

<그림 4> AF 등급과 BE 등급의 출력 멤버쉽 함수

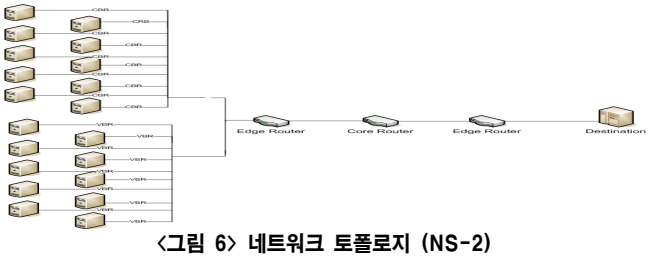
5. 시뮬레이션 결과

본 논문은 EF 등급의 제어와 AF 등급 이하를 동시에 제어하는 것이다. <그림 5>은 본 논문의 능동 큐 관리기법을 위한 제어 흐름을 표현하였다. 우선적인 등급인 EF는 대역폭을 보장받고, AF는 그에 따라 대역폭을 제한 받는다. 따라서 AF이하의 제어기에서의 제어입력은 들어오는 트래픽의 drop이다. AF가 BE의 drop 확률보다 우선시 한다.



<그림 5> 능동 큐 관리기법을 위한 제어 흐름도

<그림 6>은 본 논문의 사용된 네트워크 토폴로지이며 TCP와 UDP의 결합으로 이루어져 있다. 총 20개의 종단노드들이 존재하며 각기 같은 트래픽 생성율을 가지고 있다. <표 3>은 그때의 네트워크 파라미터이다. <그림 7>의 시뮬레이션 결과는 우선적인 EF 대역폭 보장을 위한 EF 상태궤환의 추적성능과(a), 제어입력(b), 오차(d), 트래픽(d)로 구성되어 있으며 (d)는 EF의 대역폭 보장 후 AF이하의 등급에서의 트래픽 손실을 최소화 하고 안정적인 대역폭을 유지하기 위한 drop 상태가 표현 되었다. AF에서의 제어입력은 들어오는 비선형적인 트래픽이다.

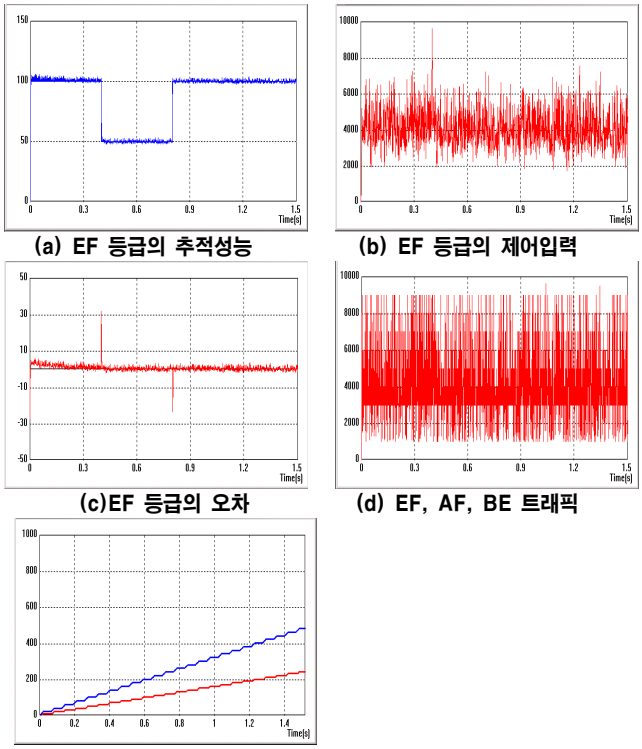


<그림 6> 네트워크 토폴로지 (NS-2)

<표 3> 네트워크 파라미터

Parameter	Value	Parameter	Value
CIR0	3000 ms	Edge router	10 Mb
CIR1	3000 ms	Core router	10 Mb
Packet size	8 Kbyte	Destination	10 Mb
Number flows	160 packet	CBR	25 Mb/s
Duration	2000 ms	Simulation time	1.5s

$x(0)=2,\ K(0)=1000,\ C_{Server}=25000,\ \alpha=1000,$
$x_d = \text{if } time \le 0.4 \text{ then } 100 \text{ else if } time \le 0.8 \text{ then } 50 \text{ else } 100,$



(a) EF 등급의 추적성능 (b) EF 등급의 제어입력

(c)EF 등급의 오차 (d) EF, AF, BE 트래픽

(e) -AF와 -BE의 Drop 수

<그림 7> 시뮬레이션 결과

6. 결 론

본 논문은 비선형적인 트래픽에 대한 차등화 서비스 네트워크의 능동 큐 관리를 위해 각기 다른 등급별 서비스를 위해 상태궤환 제어기와 퍼지 논리 제어기를 설계 하였다. 상태궤환 제어기는 EF 등급의 확고한 대역폭 보장을, 퍼지 논리 제어기는 AF와 BE 등급의 불확실한 손실에 대해 drop을 통한 대역폭의 안정성에 기인하도록 설계 하였다. 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 설계한 제어기들이 적용되어 질 수 있는 것을 보여 주고 있다. 추후 연구는 많은 실험 결과를 통하여 보다 나은 추적 성능을 갖는 제어기 설계를 하는 것이다 .

[참 고 문 헌]

[1] C. Dovrolis, D. Stiliadis, P. Ramanathan, "Proportional Differentiated Services: Delay differentiation and packet scheduling", in Proc. ACM SIGCOMM'99.

[2] J. Filipiak, *"Modeling and control of dynamic Flows in Communication Networks"*, New York: Springer-Verlag, 1998.

[3] A. Pitsillides, P. Ioannou, M. Lestas, L. Rossides " Adaptive nonlinear congestion controller for a differentiated-services framework" Networking IEEE/ACM Transaction on Vol. 13, Issue 1, pp. 99-107 Feb. 2005