

차등서비스 네트워크의 AF 서비스를 위한 공정한 대역분배 기법

(A Fair Bandwidth Distribution Mechanism for the AF Service in a Diffserv Network)

모 상 덕 [†] 정 광 수 ^{**}
(Sangdok Mo) (Kwangsue Chung)

요 약 차등서비스 네트워크(Diffserv Network)의 AF 서비스(Assured Forwarding Service)에 대한 기존 연구는 전송률 분배에서 RTT(Round Trip Time), 목표 전송률(Target Rate), UDP의 영향 등에 대한 고려가 부족하며, UPN(Under-Provisioned Network) 상황에서는 최선형 서비스처럼 동작하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 tmTRA3CM(tcp-microflow based Target rate and RTT Aware Three Color Marker), um3CM(udp-microflow based Three Color Marker), TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법 및 목표 전송률 조정함수 등으로 구성되는 PFDSA(Proportionally Fair Differentiated Service Architecture)를 제안하였다. ns 시뮬레이터를 이용한 PFDSA와 기존 방식들의 비교 분석 결과, 제안한 PFDSA는 RTT 및 UDP 영향 제거, 목표 전송률에 비례하는 대역분배 및 UPN 상황에서의 공평한 대역분배 기능이 기존 방식에 비해 우수함을 확인할 수 있었다.

키워드 : 차등서비스, RTT, UDP, 목표전송률, UPN, 공평성, PFDSA

Abstract Previous works for the AF(Assured Forwarding) service in the Diffserv network have no sufficient consideration on the fairness of bandwidth share based on the target rate and the effect of RTT and UDP. Also previous works act like Best-effort service in the UPN(Under-Provisioned Network) condition. In this paper, in order to solve these problems, we propose the PFDSA(Proportionally Fair Differentiated Service Architecture) composed of tmTRA3CM(tcp-microflow based Target rate and RTT Aware Three Color Marking), um3CM(udp-microflow based Three Color Marker), TRBD(Target Rate Based Dropper), and target rate adjusting function. In the results of comparing the performance among existing mechanisms and the PFDSA, the PFDSA was able to mitigate the RTT and UDP effect better than the former. The PFDSA was shown to provide good performance for transmission rates proportional to various target rates in the UPN condition.

Key words : Diffserv, RTT, UDP, Target Rate, UPN, Fairness, PFDSA

1. 서 론

인터넷에서의 초고속 네트워크 실현으로 VoIP(Voice over IP), VoD(Video on Demand), 화상회의 등의 멀티미디어 서비스 트래픽이 전체 인터넷 트래픽에서 많

은 대역을 점유하며 발전하고 있다. 이러한 서비스들은 다양한 수준의 서비스 품질을 요구하지만, 최선형 서비스(Best-Effort Services)를 근간으로 한 현재의 인터넷은 서비스 품질에 대한 고려가 없기 때문에 멀티미디어 서비스 제공에 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 새로운 QoS(Quality of Service) 모델 등에 관한 연구가 진행되어 왔다[1,2].

QoS에 관련된 많은 연구 중에서 완벽한 자원 보장을 위한 모델은 현실적으로 구현이 복잡하고 오버헤드가 많으므로, 각기 다른 사용자에게 서로 다른 수준의 서비스를 제공할 수 있는 차등서비스(Diffserv: Differentiated Service) 방식에 대하여 많은 연구가 수행되었다[3,4].

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성, 지원사업과 한국과학재단 특정기초연구 [R01-2005-0000-10934-0(2005)]의 지원에 의해 수행되었음

† 정 회 원 : 삼성전자 소프트웨어센터
sdmo@paran.com

** 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수
kchung@daisy.kw.ac.kr

논문접수 : 2005년 2월 21일

심사완료 : 2005년 9월 5일

차등서비스에서는 제공하고자 하는 서비스에 따라 클래스를 나누고, 각 클래스에 속하는 플로우들에게 SLA (Service Level Agreement) 기반의 차별화된 서비스를 제공한다. 차등서비스는 일반적으로 고급 서비스(Premium Service)와 확신 서비스(Assured Service)로 나눌 수 있다[5]. 전자는 인터넷 전화, 화상회의 등에 알맞은 낮은 지연시간과 지터(Jitter)를 갖는 서비스이고, 후자는 지연시간과 지터에 민감하지 않고 최선형 서비스보다는 좋은 서비스를 제공하고자 하는 경우에 이용될 수 있다. 차등서비스의 기본 원칙은 같은 SLA로 계약한 플로우들은 같은 등급의 서비스를 제공 받아야 한다는 점이다. 그러나 실제 인터넷에서는 UDP에 의한 영향, TCP 플로우들 사이의 RTT(Round Trip Time)에 의한 영향 등의 이유로, 같은 목표 전송률을 갖는 플로우들 사이에서도 실제 점유하는 대역폭에 차이가 발생하게 된다. 또한 목표 전송률의 합이 병목 링크(Bottleneck Link)의 대역폭보다도 커져서 UPN (Under-Provisioned Network) 상황이 되면 차별화된 마킹이 불가능하게 되어, 차등서비스가 최선형 서비스처럼 동작하는 문제를 안고 있다. 그리고 각 플로우의 대역은 과급에 기준이 될 수 있는 목표 전송률에 비해하도록 할당되어야 하지만, 기본적인 차등서비스 구조에서는 목표 전송률에 비해하는 대역분배를 고려하고 있지 않다[6].

본 논문에서는 기존 연구의 대역분배 성능 및 영향을 주는 요소들에 대하여 분석하고, 이를 기반으로 다양한 특성을 갖는 플로우들 사이에 공평한 대역분배가 가능한 PFDSA(Proportionally Fair Differentiated Service Architecture)를 설계하였다. PFDSA의 에지노드는 마킹을 위해 제안한 tmTRA3CM(tcp-microflow based Target rate and RTT Aware 3 Color Marker) 및 um3CM(udp-microflow based 3 Color Marker) 기법으로 구성된다. PFDSA의 코어노드는, um3CM과 상호작용하여 TCP-UDP 플로우들 사이에서 발생할 수 있는 대역분배 문제를 해결할 수 있는 TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법, 그리고 UPN 상황에서 목표 전송률을 조정하기 위한 목표 전송률 조정 함수 등으로 구성된다. 본 논문에서 제안하는 PFDSA는 RTT 및 UDP에 의한 영향을 최소화 시키면서 계약한 목표 전송률에 비해하는 대역분배가 이루어지도록 한다. 또한 UPN 상황이 되면 목표 전송률의 합이 링크 대역폭보다 크지 않도록 목표 전송률을 조정하여 UPN 상황을 벗어나도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구에 대하여 살펴보고 문제점을 분석하며, 3장에서는 제안한 PFDSA의 설계 및 구성요소에 대하여 설명한다. 4장에서는 ns 시뮬레이터를 이용하여 기존 연구 및 PFDSA

의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

현재까지 RED(Random Early Detection)에 기반을 둔 차등서비스 구조에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. Clark와 Fang은 다른 목표 전송률을 갖는 플로우들이 RTT 차이에도 불구하고, RIO(RED with In/Out)를 사용하여 목표 전송률만큼의 대역확보가 가능함을 보여주었다[7]. 그러나 같은 목표 전송률과 다른 RTT를 갖는 두 플로우가 존재할 경우에, 짧은 RTT를 갖는 플로우가 잉여 대역의 대부분을 점유하게 된다는 점을 알 수 있었다. Ibanez와 Nichols는 시뮬레이션을 통하여, 차등서비스를 제공하는 데 있어서 RTT와 TCP/UDP 플로우의 상호작용이 중요한 요소라는 점을 확인하였다[8]. Seddigh, Nandy, 그리고 Pieda는 목표 전송률과 TCP/UDP 상호작용이 OPN(Over-Provisioned Network)의 잉여 대역 분배에서 핵심 요소라는 점을 보였다[9,10]. Fang, Seddigh, 그리고 Nandy는 TSW3CM을 제안하였다[11]. Cheng, Xu, Tian, Ansari는 Fluid 모델을 이용하여 목표 전송률에 비해하는 대역분배가 가능한 CSPFQ(Core-Stateless Proportional Fair Queuing for AF Traffic)를 제안하였다[19].

차등서비스 구조의 대역분배 문제를 해결하기 위한 대표적인 연구로는, 토큰 버킷 방식을 기반으로 하는 [12,13]과 평균 전송률 예측 방식을 기반으로 하는 [14,15], ITC(Intelligent Traffic Conditioner) 등이 있다. [12,13]은 토큰 버킷에 FRED(Flow Random Early Drop)를 적용시켜 UDP와 같은 무응답 플로우의 영향을 감소시키고 있다. 그러나 FRED 알고리즘은 TCP 플로우들의 RTT 차이에 의한 효과를 완화시켜 주지는 못하기 때문에 FRED를 적용하는 [12,13]은 RTT에 의해 큰 영향을 받는다. [14]에서는 RTT 및 RTO (Retransmission Time-Out)을 고려한 TC(Traffic Conditioner)를 제안하였지만, TCP/UDP 상호작용 및 목표 전송률에 관련된 문제는 해결하지 못하였다. [15]에서는 목표 전송률을 고려한 마커를 제안하였지만 RTT, UDP 등의 다른 요소에 대한 고려가 부족하였다.

앞서 기술한 기존 연구들은 한 가지 측면의 문제 해결에 집중되어 있었지만, ITC는 비교적 다양한 측면의 문제 해결 방법을 제시하였다[16]. ITC에서는 상대적으로 RTT가 높거나 목표 전송률이 높은 집합플로우(Aggregate Flow)에 대해서 In으로 마킹되는 패킷의 양을 증가시킴으로써, RTT에 의한 영향을 감소시키고 목표 전송률에 비해한 전송률을 얻도록 하고 있다. 또한 DDPM(Different Drop Precedence Mapping)을 통하

여 TCP/UDP 상호작용을 완화시키고자 하였다. 그러나 ITC에서는 RTT와 목표 전송률을 동시에 고려하는 기법이 존재하지 않고, UDP의 영향을 완화시키기에는 DDPM의 동작이 제한적이다. 또한 UPN 상황에 대한 고려가 없기 때문에 UPN 상황에서는 서비스 차별화를 제공할 수 없게 된다.

2.1 TSW3CM

TSW3CM(Time Sliding Window Three Color Marker) 기법은 집합플로우의 평균 전송률을 예측하고 목표 전송률(CTR: Committed Target Rate) 및 최고 목표 전송률(PTR: Peak Target Rate)을 이용하여 마킹 확률을 계산한다. 그리고 계산된 확률에 의해 패킷들은 Green, Yellow, Red로 마킹된다. 이러한 TSW3CM의 핵심 구성요소로 TSW 측정기와 TSW 마커가 있다.

2.1.1 TSW 측정기

TSW 방식에서 평균 전송률 예측은 시간 창(Time Window)의 개념을 이용하여 이루어진다. 그림 1은 시간 창의 개념을 나타내고 있다. 시간 t_{n-1} 과 t_n 은 각각 $n-1$ 및 n 번째 패킷이 도착한 시간을 나타내고 T_{WL} 은 시간 창의 크기를 나타낸다. 시간 t_k 는 t_{n-1} 에서 시간 창 T_{WL} 만큼 과거의 시간을 나타낸다. 가장 최근에 예측된 평균 전송률, R_{avg} 와 시간 창의 길이, T_{WL} 을 곱하여 T_{WL} 동안 전송된 평균 데이터양을 구하고, 여기에 막 도착한 패킷의 크기, D_n 을 더해서 데이터 양, D_{total} 을 계산한다. 그리고 이 D_{total} 을 시간 창의 길이와 $n-1$ 번째 패킷이 도착한 시각 이후로 지난 시간의 합인 $T_{WL}+(t_n-t_{n-1})$ 으로 나누어 새로운 평균 전송률, R_{avg} 를 구하게 된다. TSW에서의 평균 전송률, R_{avg} 계산 방법을 정리하면 식 (1) 및 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 R_{avg} 는 TSW 패킷 마킹 알고리즘을 동작시키기 위해 이용된다.

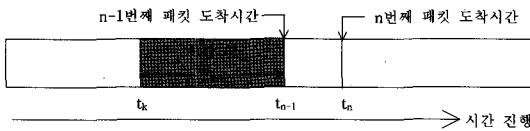


그림 1 TSW 방식의 평균 전송률 측정

$$D_{total} = R_{avg} \times T_{WL} + D_n \tag{1}$$

$$R_{avg} = \frac{D_{total}}{T_{WL} + (t_n - t_{n-1})} \tag{2}$$

2.1.2 TSW 마커

TSW 마커는 TSW 측정기에 의해 예측된 R_{avg} 와 서비스 제공자와 사용자 사이의 계약에 의해 정해질 수 있는 목표 전송률, R_C 및 최고 목표 전송률, R_P 를 이용하여 동작한다. 그림 2는 TSW 마커의 동작 알고리즘을

보이고 있다. 여기서 R_{avg} 는 예측된 평균 전송률, R_C 는 목표 전송률, R_P 는 최고 목표 전송률을 나타낸다.

```

If ( $R_{avg} \leq R_C$ )
    Green 마킹
else if ( $R_{avg} \leq R_P$ ) AND ( $R_{avg} > R_C$ )
     $P_0 = \frac{R_{avg} - R_C}{R_{avg}}$ 
     $P_0$  확률로 Yellow 마킹
     $(1-P_0)$  확률로 Green 마킹
else
     $P_1 = \frac{R_{avg} - R_P}{R_{avg}}$ 
     $P_2 = \frac{R_P - R_C}{R_{avg}}$ 
     $P_1$  확률로 Red 마킹
     $P_2$  확률로 Yellow 마킹
     $(1-(P_1+P_2))$  확률로 Green 마킹
    
```

그림 2 TSW 마킹 알고리즘

TSW 마킹 알고리즘은 패킷의 중요도에 따라 Green, Yellow, Red로 마킹할 수 있고, OPN 상황에서 집합플로우의 평균 전송률을 계약에 의한 목표 전송률 이상으로 유지하기 위해 이용될 수 있다. TSW 방식은 기본적으로 3색 마킹을 이용하지만 R_P 값을 무한대로 설정함으로써 2색 마킹(TSW2CM: Time Sliding Window Two Color Marker)을 제공할 수도 있다. 그러나 TSW 알고리즘에서는 RTT 차이에 의한 문제, UDP의 영향, 전송률이 계약한 목표 전송률에 비해하지 않는 문제 등은 고려하고 있지 않다.

2.2 ITC

ITC(Intelligent Traffic Conditioner)는 기본 차등서비스 모델에서 발생할 수 있는 RTT 차이에 의한 불공평성과 계약한 목표 전송률에 비해하지 않는 전송률 분배 문제를 해결하기 위해서 제안되었다. ITC의 측정기와 마커의 기본 알고리즘은 TSW2CM 방식과 비슷하다. 다른 점은 집합플로우 1, 2의 Out으로 마킹되는 확률 계산에 RTT 또는 목표 전송률의 영향을 고려하고 있다는 점이다. ITC는 RTT만을 고려한 RATC (Rate Aware Traffic Conditioner)와 목표 전송률만을 고려한 TATC (Target Aware Traffic Conditioner)로 구분될 수 있다. ITC에서는 UDP 플로우의 영향을 완화시키기 위한 방법으로 DDPM (Different Drop Precedence Mapping)을 이용하고 있다.

2.2.1 RTT 영향 완화 기법

ITC에서는 RTT의 영향을 완화시키기 위한 기법으로 RATC를 제안하였다. RATC에서는 TCP의 전송률과

RTT 및 패기 확률, P 사이의 관계를 나타내는 식 (3)을 이용한다[17]. R_1, R_2 가 각각 1, 2번 집합플로우의 전송률을 나타내고 RTT_1, RTT_2 는 RTT를, P_1, P_2 가 패기 확률을 나타낸다고 할 때, 1, 2번 집합플로우의 전송률이 RTT에 독립적으로 같은 값을 갖도록 하기 위해서는 식 (4)가 만족되어야 한다.

$$R = \frac{C \times MSS}{RTT \times \sqrt{P}} \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{C \times MSS}{RTT_1 \times \sqrt{P_1}} = R_2 = \frac{C \times MSS}{RTT_2 \times \sqrt{P_2}} \quad (4)$$

식 (4)를 이용하여 패기 확률과 RTT 사이의 관계를 구하면 식 (5)와 같다. RATC에서는 P_1 과 P_{out1}, P_2 와 P_{out2} 가 각각 비례한다고 가정함으로써 식 (6), (7)과 같이 Out으로 마킹될 확률을 유도할 수 있다. 여기서 P_{out1}, P_{out2} 는 Out 마킹 확률을 나타낸다. 식 (7)의 RTT_2 가 커짐에 따라 집합플로우 2의 Out 마킹 확률, P_{out2} 는 작아지고 In 마킹 확률은 커져서, 상대적으로 집합플로우 1보다 많은 패킷이 보호되게 된다. 따라서 집합플로우 1과의 RTT 차이에 의해 발생하는 불공평한 전송률 분배가 완화되게 된다.

$$P_2 = \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 P_1 \quad (5)$$

$$P_{out1} = \frac{R_{avg} - R_C}{R_{avg}} \quad (6)$$

$$P_{out2} = \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 P_{out1} \quad (7)$$

집합플로우 1을 차등서비스 네트워크에서 가장 RTT가 작은 플로우로 가정할 경우에, 집합플로우 1, 2의 RTT와 P_{out1} 을 알면 이를 이용하여 집합플로우 2의 Out 마킹 확률을 얻을 수 있다. 각 집합플로우의 RTT 값은 미리 설정된 전송 지연(Transmission Delay)을 이용하거나 예지노드에서 측정에 의해 구할 수 있으며, 차등서비스 네트워크 내의 최소 RTT를 얻기 위해서는 예지노드들 사이의 정보 교환이 필요하다.

2.2.2 목표 전송률에 비례하는 대역분배 기법

ITC에서 제안한 TATC는 목표 전송률에 비례하는 대역분배 기능을 제공한다. TATC는 두 집합플로우의 RTT가 같다고 가정할 때 식 (8) 또는 (9)를 이용하여 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 할 수 있다. 이는 식 (7)과 비슷한 방법으로 유도될 수 있다. 식 (8)의 TATC2D (Target Aware TC with 2 Drop Precedence)는 2색 마킹 기법을 이용하고, 식 (9)의 TATC3D (Target Aware TC with 3 Drop Precedence)는 3색 마킹 기법을 이용하고 있다. 식 (8)과 (9)에서 R_{Cmin} 은 차등서비스 네트워크의 목표 전송률 중 최소값을 나타내고 R_C 는 마킹 확률을 구하고 있는 플로우의 목표 전송률을 나타낸다. P_{out}, P_C, P_Y, P_R

은 각각 Out, Green, Yellow, Red로 마킹될 확률을 나타낸다. 식 (8) 또는 (9)를 이용하여 마킹할 경우에, 상대적으로 목표 전송률이 큰 집합플로우의 In 또는 Yellow 패킷 수가 증가하고 패킷이 보호되게 된다. 결과적으로 목표 전송률이 큰 집합플로우의 전송률이 증가하게 되어 목표 전송률에 비례하는 대역분배가 가능하게 된다.

$$P_{out2} = \left(\frac{R_{Cmin}}{R_C} \right)^2 P_{out1} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{C2} &= \frac{R_C}{R_{avg}} \\ P_{Y2} &= \left(1 - \frac{R_{Cmin}}{R_C} \right) (1 - P_{C2}) \\ P_{R2} &= \left(\frac{R_{Cmin}}{R_C} \right) (1 - P_{C2}) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

2.2.3 무응답 플로우 영향 완화 기법

ITC에서는 UDP와 같은 무응답 플로우의 영향을 완화시키기 위해 DDPM을 이용한다. ITC의 DDPM에서는 RATC 또는 TATC2D를 이용하여 In과 Out 패킷으로 구분하고, 구분된 패킷을 Green, Yellow, 또는 Red에 맵핑하여 마킹하게 된다. ITC에서는 실제 맵핑을 위해서 표 1과 같은 6개의 시나리오를 제시하고, 6번 시나리오가 UDP의 영향을 가장 완화시킬 수 있음을 보였다. 그러나 DDPM의 성능은 TCP의 RTT 등에 따라 상당히 가변적이고 예측하기 어렵다.

표 1 TCP와 UDP의 DDP에 대한 맵핑

시나리오	1	2	3	4	5	6
TCP-In	Green	Green	Green	Green	Green	Green
TCP-Out	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow
UDP-In	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Green
UDP-Out	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red

2.2.4 ITC의 문제점

ITC는 RTT 또는 목표 전송률을 고려한 RATC 및 TATC를 제안하고 있지만, 동시에 RTT 및 목표 전송률 문제를 해결할 수 있는 메커니즘은 제공하지 않는다. 또한 ITC의 DDPM은 UDP 영향을 완화시키기 위한 접근 방법을 제시하기는 했지만, 비교적 좋은 성능을 보이는 것으로 주장한 표 1, 6번 시나리오의 경우에도 TCP의 RTT나 목표 전송률, UPN 상황 등에 영향을 받게 되어 오히려 대역분배의 공평성을 악화시키는 경우도 발생한다.

3. 제안한 대역분배 기법

기존 연구보다 다양한 환경에서 공정한 대역 분배 성능을 향상시키기 위하여 본 논문에서는 PFDSA

(Proportionally Fair Differentiated Service Architecture)를 제안한다. PFDSA를 위한 기본 구성요소로서 tmTRA3CM(tcp-microflow based Target rate and RTT Aware Three Color Marker), um3CM (udp-microflow based Three Color Marker), 그리고 TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법과 목표 전송률 조정 함수를 제안한다.

3.1 기본 설계 개념

차동서비스 구조에서의 대역분배 문제에 대한 기존 연구는 여전히 다음과 같은 문제를 갖고 있다. 1) 대부분의 기존 연구들은 RTT 또는 UDP 등의 특정한 하나의 문제에만 집중하고 있어서 복합적인 요인에 의해 발생하는 불공평한 대역분배 문제는 해결하지 못한다. 2) 기존 연구는 에지노드에서의 마킹에 집중되어 있어서 마킹을 통해서 해결하기 어려운 UDP의 영향이나 UPN의 문제는 심각한 불평등 요인으로 남겨져 있다. 3) 기존 연구에서 이용하고 있는 코어노드의 MRED는 TCP 플로우를 위한 패킷 폐기 기법이라는 점이 UDP의 영향을 제거하기 어렵게 만든다. 4) 기존 연구에서는 UPN에 대한 고려가 부족하다. 따라서 UPN 상황에서 최선형 서비스 제공과 비슷한 효과가 나타나게 된다. 5) 기존 차동서비스 구조는 기본적으로 집합플로우 기반으로 동작하도록 설계되어 있지만, 서비스의 계약 및 목표 전송률 설정이 서비스의 주체가 되는 개별플로우(Microflow) 단위로 이루어지는 것이 개별플로우 단위의 공평한 대역분배에 좋은 성능을 보일 수 있다.

본 논문에서는 기존 연구의 문제들을 해결할 수 있는 새로운 모델을 설계하기 위한 기본 개념으로 다음과 같은 3가지 요구사항을 정의하였다. 1) UDP의 영향을 최소화하고 UPN 상황을 벗어날 수 있도록 에지노드와 코어노드는 상호 보완하여 동작해야 한다. 2) RTT, UDP 영향을 최소화하면서 목표 전송률에 비례하는 대역분배가 이루어져야 한다. 3) 서비스 주체인 개별플로우 기반의 대역분배가 이루어져야 한다. 이러한 요구사항을 기반으로 본 논문에서는 차동서비스 네트워크에서 공평한 대역분배를 제공할 수 있는 PFDSA를 제안한다. 또한 PFDSA의 구성요소인, TCP를 위한 tmTRA3CM과 TCP-UDP 공평성 향상을 위한 um3CM 및 TRBD를 제안한다. 또한 PFDSA는 UPN 상황이 발생하더라도 빠르게 벗어날 수 있도록 제안된 목표 전송률 조정 함수를 이용하고 있다.

3.2 PFDSA의 구조

본 논문에서 제안하는 PFDSA의 구조는 그림 3과 같다. 분류기는 유입된 패킷이 어떤 서비스를 받아야 하는지 결정하여 해당 클래스로 분류하고, 패킷이 TCP인지 UDP인지를 판단하게 된다. 그리고 이러한 관련정보들

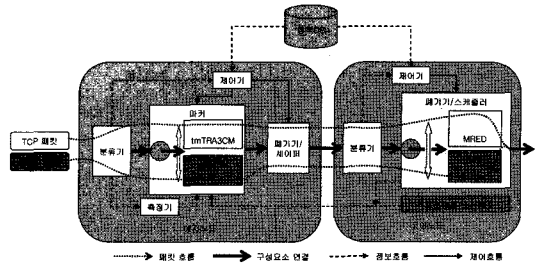


그림 3 PFDSA의 구성요소

은 제어기와 측정기에 보내진다. 측정기에서는 패킷이 소속된 플로우의 RTT, 전송률 등을 측정하여 마커에게 알려준다. 마킹에 필요한 네트워크 내의 정책, 목표 전송률 등의 정보는 정책DB에서 얻게 되며, 제어기는 분류된 패킷에 대한 정보, 정책DB에서 제공된 정보를 이용하여 알맞은 마커(또는 폐기기)를 선택하고, 마킹에 필요한 정보를 이용하여 해당 마커를 설정한다. 마커는 제어기 및 측정기로부터 전달받은 평균 전송률, 목표 전송률 등의 정보와 코어노드로부터 제공 받은 목표 전송률 조정 함수 값 등을 이용하여 패킷에 마킹한다. 폐기기는 패킷의 소속(TCP 또는 UDP)에 따라 MRED 또는 TRBD 패킷 폐기 기법을 이용하여 패킷 폐기를 결정하고 실행한다.

3.3 PFDSA에서 에지노드 기능

TCP를 위한 마커인 tmTRA3CM은 RTT 및 목표 전송률을 고려하여 TCP 플로우들의 대역분배를 조정한다. tmTRA3CM은 기본적으로 Yellow와 Red 마킹 확률을 조정하여 RTT의 영향을 완화시키고, 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 한다. UDP를 위한 마커인 um3CM은 코어노드의 TRBD와 연동하여 UDP 플로우가 TCP 플로우의 대역을 점유하지 않으면서 목표 전송률에 비례하도록 한다.

3.3.1 tmTRA3CM 기법

tmTRA3CM에서는 TSW3CM 및 ITC와 마찬가지로 TSW 측정기에 기반을 둔 확률적 마킹을 이용하고 있다. tmTRA3CM의 마킹 확률 계산에서 기본적인 표기는 ITC에서의 동일하며, 개별플로우 1이 차동서비스 네트워크에서의 최소 RTT를 갖는다고 가정하여 개별플로우 2의 각 색(Color)별 마킹 확률을 계산한다.

tmTRA3CM은 RTT 및 목표 전송률을 고려한 대역 분배를 위해 Yellow 및 Red 확률을 조정함으로써, Green 마킹 확률에는 영향을 주지 않는다. 이러한 패킷 마킹 확률의 계산은 ITC와 비슷하게 안정상태 TCP 전송률 공식인 식 (3)으로부터 유도된다. 식 (3)은 안정상태에서의 TCP 전송률을 나타내므로 식 (4)와 같은 결과가 도출될 수 있도록 마킹확률을 조정함으로써 공정

한 대역분배가 이루어질 수 있다. 식 (10)은 식 (3)과 (4)로부터 유도되어 목표 전송률을 포함한 개별플로우 1, 2 사이의 관계를 나타내고 있으며, 식 (11)은 패킷 폐기 확률 P_1 과 P_2 사이의 관계를 나타내고 있다. 여기서 아래 첨자 1, 2는 플로우 1, 2를, R , R_C 는 각 플로우의 예측된 평균 전송률 및 목표 전송률을 나타낸다. 개별플로우 1과 2에 대하여 식 (10)이 만족될 때 목표 전송률에 비례하는, 공정한 대역분배가 가능하며, 이러한 상황은 식 (11)에서처럼 P_1 , P_2 의 관계가 성립될 때 이루어진다. 식 (12)는 Green, Yellow, Red 패킷의 폐기 확률, P_{Gd} , P_{Yd} , P_{Rd} 와 P_1 , P_2 사이의 관계를 각각 나타낸다.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{C1}}{R_{C2}} = \frac{RTT_2}{RTT_1} \frac{\sqrt{P_2}}{\sqrt{P_1}} \quad (10)$$

$$P_2 = \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 \left(\frac{R_{C1}}{R_{C2}} \right)^2 P_1 \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_{Gd1} + P_{Yd1} + P_{Rd1} \\ P_2 &= P_{Gd2} + P_{Yd2} + P_{Rd2} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

플로우들의 각 색별 패킷 폐기 확률 P_{Gd} , P_{Yd} , P_{Rd} 는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 P_G , P_Y 와 P_R 은 각각 Green, Yellow, Red 마킹 확률이고, 이들의 관계는 식 (14)에서 보이고 있다. g , y , r 은 3색 각각에서의 '부분 패킷 폐기 확률'이다. g 는 Green 패킷들 중에서 폐기되는 패킷의 비율을 나타내며 y 와 r 도 Yellow, Red 패킷에 대해서 같은 의미를 갖는다. 이러한 식 (13)과 (14)를 기반으로 마킹에 이용되는 확률 P_{G2} , P_{Y2} , P_{R2} 를 유도할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} P_{Gd1} &= g_1 P_{C1}, & P_{Gd2} &= g_2 P_{C2} \\ P_{Yd1} &= y_1 P_{Y1}, & P_{Yd2} &= y_2 P_{Y2} \\ P_{Rd1} &= r_1 P_{R1}, & P_{Rd2} &= r_2 P_{R2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$P_{C1} + P_{Y1} + P_{R1} = 1, \quad P_{C2} + P_{Y2} + P_{R2} = 1 \quad (14)$$

각 플로우 사이의 g , y , r 관계는 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다. 각 플로우 사이에 식 (15)가 성립되는 이유는 RIO 또는 MRED의 패킷 폐기 메커니즘에 의해 플로우 구분 없이 각 색별로 임의의 패킷이 폐기되기 때문이다.

$$\left. \begin{aligned} g &= g_1 = g_2, & 0 \leq g \leq 1 \\ y &= y_1 = y_2, & 0 \leq y \leq 1 \\ r &= r_1 = r_2, & 0 \leq r \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

식 (12), (14), (15)를 식 (11)에 적용하면 식 (16)을 얻을 수 있다. 이를 g , y , r 에 대하여 정리하고 TSW 방식의 마킹 확률 식 (17)의 R_C 와 R_P 를 같은 값으로 하여 최종적인 Green, Yellow, 그리고 Red의 마킹 확률을 정리하면 식 (18)의 일반 결과 식을 얻게 되고, 이 결과를 실제 마킹 알고리즘에서 이용하게 된다. 식 (18)에서 목표 전송률이나 RTT가 큰 플로우의 α^2 은 상대적으로 작은 값을 갖게 되고, 따라서 P_Y 가 커지고 보호되는 패킷 수가 증가하게 되어 RTT 영향을 완화시키거나 목표 전송률에 비례하는 대역분배가 이루어진다.

$$\left. \begin{aligned} \alpha^2 &= \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 \left(\frac{R_{C1}}{R_{C2}} \right)^2 \\ g P_{C2} + y P_{Y2} + r P_{R2} &= \alpha^2 g P_{C1} + \alpha^2 y P_{Y1} + \alpha^2 r P_{R1} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$P_{C1} = \frac{R_{C2}}{R_2}, \quad P_{Y1} = \frac{R_{P2} - R_{C2}}{R_2}, \quad P_{R1} = \frac{R_2 - R_{P2}}{R_2} \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} P_G &= \frac{R_C}{R} \\ P_Y &= \frac{1 - \alpha^2}{1 - y} (1 - P_G) \\ P_R &= \frac{\alpha^2 - y}{1 - y} (1 - P_G) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

에지노드에 패킷이 도착하고 tmTRA3CM이 활성화되어 패킷을 처리하게 되면, 먼저 목표 전송률 조정 함수 $f(R_{GmQ})$ 의 값이 1보다 작은 지 검사하게 된다. 목표 전송률 조정 함수의 값이 1보다 작다는 것은 현재 네트워크가 UPN 상태에 놓여 있다는 사실을 나타낸다. 따라서 tmTRA3CM은 UPN 상황에서 벗어나도록 목표 전송률을 식 (19)와 같이 조정하여 새로운 목표 전송률로 설정한다. 식 (19)에서 R_{CSLA} 는 계약된 목표 전송률을 나타낸다. 이후 식 (18)을 이용하여 마킹 확률을 계산하고 TSW 마킹 알고리즘과 비슷한 알고리즘을 이용하여 패킷을 마킹한다.

$$R_C = f(R_{GmQ}) \times R_{CSLA} \quad (19)$$

3.3.2 um3CM 기법

um3CM 기법은 TRBD와 함께 동작하여, TCP에 대한 UDP의 영향을 제거하고 목표 전송률에 비례하는 전송률 분배가 이루어지도록 한다. um3CM은 코어노드에서 제공하는 목표 전송률 조정 함수 값과 코어노드에서의 전송률 대 목표 전송률의 비율인 α_0 를 기반으로 UDP 패킷 마킹 확률을 결정한다.

가) um3CM 마킹 확률

UDP 패킷 마킹을 위한 um3CM은 전송률 대 목표 전송률의 비율인 α_0 를 이용하여 마킹 확률을 계산하게 된다. 여기서 α_0 는 공평한 대역분배를 통해 병목 구간에서 얻을 수 있는 최대 전송률 대 목표 전송률의 비율을 나타낸다. α_0 는 식 (20)과 같이 나타낼 수 있고, 따라서 공평한 대역분배를 통해 얻을 수 있는 전송률 R_{avg} 는 식 (21)과 같이 된다.

$$\alpha_a = \frac{R_{avg}}{R_C} \quad (20)$$

$$R_{avg} = \alpha_a \times R_C \quad (21)$$

송신단에서 UDP 패킷을 내보내는 전송률을 R_s 라 할 때, um3CM에서는 식 (20)과 (21)을 이용하여, Green, Yellow, Red의 마킹확률을 식 (22), (23), (24)와 같이 결정한다. um3CM은 목표 전송률에 비례하는 대역까지 P_G , P_Y 확률로 마킹하고 이외의 패킷은 Red로 마킹한다. 따라서 Green, Yellow 패킷은 상대적으로 보호되고 거의 모든 Red 패킷은 폐기된다. 식 (22), (23), (24)를 이용하는 마킹 기법 um3CM과 코어노드의 TRBD는 상

호 연동하여 TCP/UDP 공평성 및 목표 전송률에 비례하는 대역분배 기능을 제공할 수 있다.

$$P_G = \frac{R_C}{R_S} \tag{22}$$

$$P_Y = \frac{R_{avg} - R_C}{R_S} \tag{23}$$

$$= (\alpha_a - 1) \times P_G$$

$$P_R = \frac{R_S - R_{avg}}{R_S} \tag{24}$$

$$= 1 - \alpha_a \times P_G$$

나) um3CM 마킹 알고리즘

um3CM의 마킹 알고리즘은 그림 4와 같다. 그림 4에서 $f(R_{GinQ})$ 는 목표 전송률 조정 함수, R_{avg} 는 a_a 값에 의한 공평한 대역분배를 위한 전송률, R_{CSLA} 는 계약된 목표 전송률, 그리고 R_S 는 송신단에서의 전송률을 나타낸다. um3CM에 패킷이 도착하면 $f(R_{GinQ})$ 의 값을 이용하여 식 (19)처럼 목표 전송률을 조정한다. 목표 전송률 조정 후, 송신단에서 패킷을 내보내는 전송률 R_S 가 목표 전송률 R_C 보다 작다면 모든 패킷을 Green으로 마킹한다. R_S 가 목표 전송률 R_C 보다 크고 대역분배를 통해 획득 가능한 최대 전송률 R_{avg} 보다 작다면, 식 (22)의 확률로 Green으로 마킹하고 나머지 패킷들은 모두 Yellow로 마킹한다. 만일 R_S 가 R_{avg} 보다도 크다면 식 (22), (23), (24)를 이용하여 Green, Yellow, Red로 마킹하게 된다.

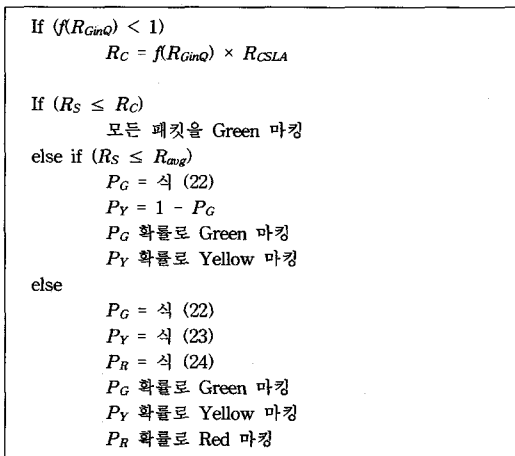


그림 4 um3CM 마킹 알고리즘

3.4 PFDSA에서 코어노드 기능

PFDSA의 코어노드에서는 TCP 패킷의 폐기 판단은 MRED를 이용하고 UDP 패킷의 폐기 판단은 TRBD 기법을 이용하여, TCP-UDP 플로우 사이에 목표 전송률에 비례하는 대역분배를 제공한다. TRBD에서는 개별 플로우 단위의 정보 관리를 피하기 위해서, TCP와 UDP 및 Green, Yellow, Red로만 나누어 코어노드로의

패킷 유입률을 관리한다. 코어노드에서는 Green 패킷의 유입률을 목표 전송률로 예측하여 이용한다.

3.4.1 TRBD (Target Rate Based Dropping) 기법 가) UDP 패킷 폐기 확률

코어노드에서의 UDP 패킷 폐기 확률, p_d 는 아웃링크의 대역폭이 목표 전송률에 비해하도록 분배되었을 경우의 대역폭, 목표 전송률, 아웃링크의 대역폭 및 큐 크기 등을 이용하여 결정한다. 이 때 p_d 를 구하기 위해 필요한 아웃링크 버스트 대역폭, BW_{max} , 목표 전송률에 비해하도록 대역 분배된 전송률 대 목표 전송률의 비율인, a_a , 그리고 TCP의 전송률은 다음과 같이 정의한다.

•아웃링크 버스트 대역폭:

아웃링크 버스트 대역폭이란 코어노드에서 Green 패킷 폐기 없이 일시적으로 수용할 수 있는 패킷 유입률을 말한다. 따라서 아웃링크 버스트 대역폭, BW_{max} 는 식 (25)와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 BW_{out} 은 아웃링크의 대역폭을, R_Q 는 아웃링크 큐가 1초 동안 수용할 수 있는 패킷 유입률을 나타낸다.

$$BW_{max} = BW_{out} + R_Q \tag{25}$$

•평균 전송률 대 목표 전송률 비율:

목표 전송률에 비례하는 대역분배를 위해서 a_a 는 모든 플로우에 대해서 동일한 값이 되어야 한다. 따라서 a_a 는 식 (26)과 같이 정의된다. 여기서 R_{TA} 및 R_{UA} 는 공평한 대역분배가 이루어진 경우의 TCP 및 UDP의 평균 전송률을 각각 나타내고, R_{TC} 및 R_{UC} 는 TCP 및 UDP의 목표 전송률을 나타낸다.

$$\alpha_a = \frac{R_{TA}}{R_{TC}} = \frac{R_{UA}}{R_{UC}} \tag{26}$$

•TCP의 전송률:

TCP는 혼잡제어에 따라 혼잡 창 크기를 제어함으로써 전송률을 조절한다. 안정상태에서 TCP의 혼잡 창 크기는 그림 5와 같이 변하게 되며, 이때 TCP의 평균, 최대, 최소 전송률은 각각 식 (27), (28), (29)와 같이 나타낼 수 있다.

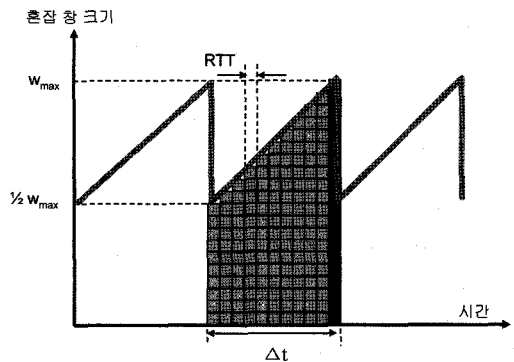


그림 428 안정상태에서 TCP 혼잡 창 변화

$$R_{TA} = \frac{\frac{1}{2} w_{\max} \frac{\Delta t}{RTT} + \frac{1}{2} (\frac{1}{2} w_{\max} \frac{\Delta t}{RTT})}{\Delta t} = \frac{3}{4} \frac{w_{\max}}{RTT} \quad (27)$$

$$R_{Tmax} = \frac{4}{3} R_{TA} \quad (28)$$

$$R_{Tmin} = \frac{2}{3} R_{TA} \quad (29)$$

코어노드에서 각 플로우의 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 할 경우에, TCP의 최대 전송률과 UDP의 평균 전송률의 합은 아웃링크 버스트 대역폭보다 커져서는 안되며 이는 식 (30)으로 나타낼 수 있다. 식 (30)에서 R_{UA} 는 UDP의 평균 전송률을 나타낸다. 평균 전송률 대 목표 전송률의 비율인 α_i 를 구하기 위해서 식 (26)과 (28)을 식 (30)에 대입하여 정리하면 최대 α_i 는 식 (31)과 같다. TRBD는 α_i 를 um3CM에게 제공하여 패킷 마킹 확률 계산에 이용될 수 있도록 한다.

$$R_{Tmax} + R_{UA} \leq BW_{\max} \quad (30)$$

$$\alpha_i = \frac{BW_{\max}}{\frac{4}{3} R_{TC} + R_{UC}} \quad (31)$$

TRBD에서는 Green, Yellow, Red 패킷의 유입률을 측정하여, TCP 목표 전송률, R_{TC} 및 UDP 목표 전송률, R_{UC} 와 UDP 패킷의 유입률, R_{Ui} 등을 예측한다. UDP 패킷 유입률 대 UDP 목표 전송률의 비율, α_i 는 식 (32)와 같이 정의할 수 있다. 이 α_i 가 α_i 보다 크다면 UDP가 실제 분배 받을 수 있는 대역이 수용할 수 있는 패킷 수보다 식 (33)의 α_i 비율만큼 더 많은 패킷이 코어노드로 유입되고 있다는 것을 나타낸다. 따라서 α_i/α_i 확률로 유입되는 패킷을 폐기시킴으로써 목표 전송률에 비례하도록 대역을 분배할 수 있다. 이를 위한 패킷 폐기확률, p_d 는 식 (33)을 이용하여 식 (34)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{R_{Ui}}{R_{UC}} \quad (32)$$

$$\alpha_d = \alpha_i - \alpha_a \quad (33)$$

$$p_d = \frac{\alpha_d}{\alpha_i} \quad (34)$$

$$= 1 - \frac{\alpha_a}{\alpha_i}$$

나) TRBD의 패킷 폐기 판단

UDP 패킷 폐기 확률 p_d 가 결정되었다 하더라도 처리되고 있는 패킷의 마킹된 색에 따라 패킷 폐기 결정을 하여야 한다. 이러한 마킹 색에 따른 패킷 폐기의 판단은 그림 6의 알고리즘을 통하여 이루어진다. 여기서 P_Y 는 UDP의 Yellow 마킹 확률, P_R 은 UDP의 Red 마킹 확률, p_{dy} 및 p_{dr} 각각은 Yellow, Red 패킷 폐기 확률을 나타낸다. 유입된 패킷이 Red일 경우에 p_d 가 P_R 보다 작으면 p_{dr} 의 확률로 폐기되지만, p_d 가 P_R 보다 크다면 항상 폐기된다. Yellow 패킷의 경우에는 p_d 가 P_R 보다 작

으면 폐기되지 않고, p_d 가 P_R 보다 크다면 p_{dy} 확률로 폐기된다.

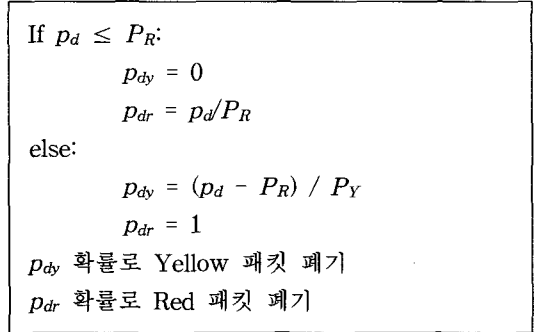


그림 6 TRBD에서의 패킷 폐기 판단

3.4.2 목표 전송률 조정 함수

차등서비스 네트워크가 UPN 상황이 되어 최선형 서비스처럼 동작하는 것을 방지하기 위해서, 목표 전송률을 조정하여 빠르게 UPN 상황을 벗어나게 할 필요가 있다. 목표 전송률의 조정은 목표 전송률 조정 함수, $f(R_{GinQ})$ 를 통하여 이루어지며, 목표 전송률 감소, 유지, 증가의 3가지 동작모드를 갖는다. TCP 전송률 변화 특성을 UPN이 될 수 있는 상황에 적용한, 목표 전송률 조정 함수의 3가지 동작 모드는 그림 7과 같이 나타낼 수 있다.

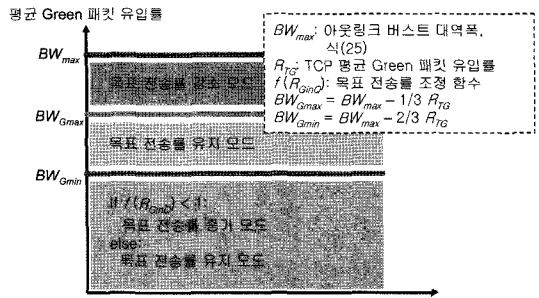


그림 7 목표 전송률 조정 함수의 3가지 모드

가) 목표 전송률 감소 모드

Green 패킷 유입률의 최대값, R_{Gmax} 가 아웃링크 버스트 대역폭, BW_{max} 보다 커지게 되면 Green 패킷의 폐기가 급격히 증가하며 UPN 상황으로 들어가게 될 가능성이 커지게 된다. 식 (35), (36)을 통해 이러한 시작점이 평균 Green 패킷 유입률, R_G 가 BW_{Gmax} 보다 커질 때라는 사실을 알 수 있다. 따라서 목표 전송률 조정 함수는 R_G 가 BW_{Gmax} 보다 커지면 목표 전송률 감소 모드로 들어가 R_G 가 BW_{Gmin} 이하로 작아지도록 조정한다.

$$R_{Gmax} = \frac{4}{3}R_{TG} + R_{UG}, \quad R_G = R_{TG} + R_{UG} \quad (35)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{Gmax} &= BW_{max} \\ R_G &= BW_{max} - \frac{1}{3}R_{TG} (= BW_{Gmax}) \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

그림 7로부터 가장 이상적인 Green 패킷 유입률은 BW_{Gmax} 라는 점을 알 수 있다. 따라서 목표 전송률의 조정 값은 식 (37)과 같이 결정되어 에지노드에게 알려주게 된다. 여기서 R_{CSLA} 는 계약된 목표 전송률, f_{old} 는 이전 목표 전송률 조정 값을 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} R_{CSLA} \times f(R_{GnQ}) &= BW_{Gmax}, \quad R_G = R_{CSLA} \times f_{old} \\ f(R_{GnQ}) &= \frac{BW_{Gmax}}{R_{CSLA}} = f_{old} \times \frac{BW_{max} - \frac{1}{3}R_{TG}}{R_{TG} + R_{UG}} \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

나) 목표 전송률 증가 모드

그림 7에서 나타내는 것처럼, 평균 Green 패킷 유입률, R_G 가 BW_{Gmin} 보다 작게 되면, 순간적인 TCP Green 패킷 유입률의 최대 변화폭인 $\%R_{TG}$ 만큼 R_G 가 증가해도 Green 패킷 폐기가 발생하지 않고 UPN 상황도 발생하지 않는다. 따라서 Green 패킷 폐기에 대한 위험성 없이, 감소되었던 목표 전송률을 BW_{Gmax} 로 증가시킬 수 있다. 목표 전송률을 증가시키기 위한 조정 값은 식 (37)을 이용하여 결정하게 된다. 이러한 목표 전송률 증가의 현재 목표 전송률 조정 값이 이전의 감소 모드에서 감소된 상태, 즉 1보다 작을 경우에만 이루어진다.

다) 목표 전송률 유지 모드

평균 Green 패킷 유입률이 BW_{Gmax} 와 BW_{Gmin} 사이에 있을 때에는 UPN 상황이 발생하지 않는 안정적인 상태로 판별하고, 현재의 목표 전송률 조정 값을 유지한다.

4. 성능 평가 및 고찰

4.1 시뮬레이션 환경

제한한 PFDSA의 성능을 측정하기 위해 ns를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였으며, 성능 평가를 위한 시뮬레이션 네트워크는 그림 8과 같이 구성하였다. 총 3개의 송신 측 에지노드(E1~E3)와 1개의 수신 측 에지

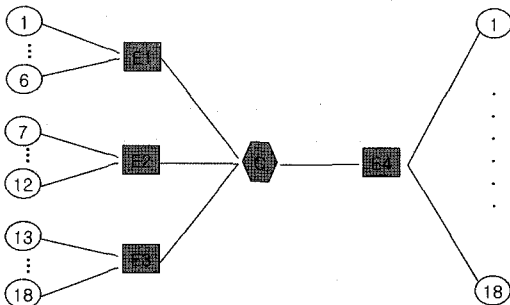


그림 8 시뮬레이션 네트워크의 구성

노드 E4가 존재하게 되며, 코어노드 C와 에지노드 E4 사이가 병목 구간으로 10Mbps의 대역을 갖게 되고, 나머지 링크들은 100Mbps의 대역을 갖는다.

본 논문에서 실험결과를 분석하기 위해 이용되는 공평성 지수(FI: Fair Index)와 일반화 공평성 지수(GFI: Generalized Fair Index)를 다음과 같이 정의한다.

• 공평성 지수

공평성 지수는 식 (38)과 같이 표현된다[18]. n 은 플로우의 수, x_i 는 플로우 i 의 전송률을 나타낸다. 공평성 지수 1은 이상적인 대역분배가 이루어졌음을 나타낸다.

$$FI = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2)} \quad (38)$$

• 일반화 공평성 지수

일반화 공평성 지수는 플로우들 사이의 대역분배가 목표 전송률에 비례하는지를 나타낸다. 일반화 공평성 지수는 식 (39)와 같이 정의되며, 여기서 R_{Ci} 는 플로우 i 의 목표 전송률을 나타낸다.

$$GFI = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{R_{Ci}}\right)^2}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{R_{Ci}}\right)^2} \quad (39)$$

4.2 OPN 상황에서의 성능 평가

4.2.1 RTT의 영향에 대한 성능 평가

대역분배에 영향을 주는 목표 전송률, 플로우 수 등의 조건은 동일하고 RTT의 영향만 고려한 실험 환경 설정은 표 2와 같다. 그림 9의 실험 결과는 집합플로우 2의 RTT가 증가함에 따른 각 기법에서의 공평성 지수를 나타낸다. 그림 9에서 RTT 완화 방법이 없는 TSW3CM은 두 플로우 사이에 RTT 차이가 증가함에 따라 공평성이 악화되지만, ITC의 RATC와 제안한 PFDSA의 경우에는 큰 변화 없이 공평하게 대역분배가 되고 있음을 알 수 있다.

표 2 RTT 영향에 대한 실험 설정

TC	집합 플로우	RTT (ms)	목표 전송률 (Mbps)	최고 목표 전송률	개별 플로우 수
TSW3CM	집합 1 (TCP)	20	2	목표 전송률+1	6
	집합 2 (TCP)	20~200	2	목표 전송률+1	6
ITC (RATC)	집합 1 (TCP)	20	2	×	6
	집합 2 (TCP)	20~200	2	×	6
PFDSA	집합 1 (TCP)	20	개별: 2/6 (집합: 2)	×	6
	집합 2 (TCP)	20~200	개별: 2/6 (집합: 2)	×	6

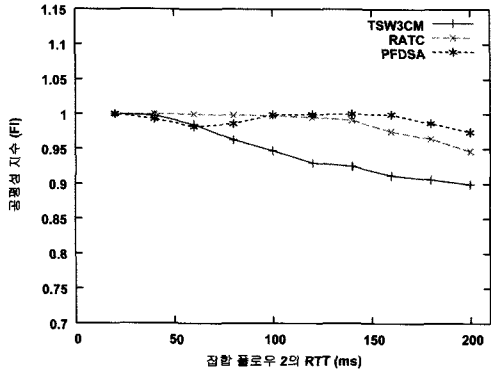


그림 9 RTT에 따른 공평성 지수 변화

4.2.2 UDP의 영향에 대한 성능 평가

TCP-UDP 플로우 사이의 공평성 비교 실험을 위한 설정은 표 2와 대부분 동일하지만, 집합플로우 1이 UDP 플로우로 구성된다는 점이 다르다. 집합플로우 1의 개별 플로우는 각각 1.5Mbps의 송신단 전송률을 갖는다. 그림 10의 실험 결과를 보면 PFDSA를 이용하는 경우에 모든 RTT 영역에서 TCP-UDP 사이에 공평한 대역분배를 제공한다는 것을 알 수 있다. 그러나 ITC의 RATC 경우는 대부분의 RTT 영역에서 상대적으로 불공평한 현상을 보인다. 이것은 UDP의 모든 Out 패킷을 Red로 마킹함으로써 UDP의 전송률이 TCP의 전송률보다 오히려 저하되기 때문이다. PFDSA에서는 TRBD의 동작으로 UDP 패킷 폐기가 공평한 대역분배에 따라 이루어지므로 1에 가까운 공평성 지수를 보이게 된다.

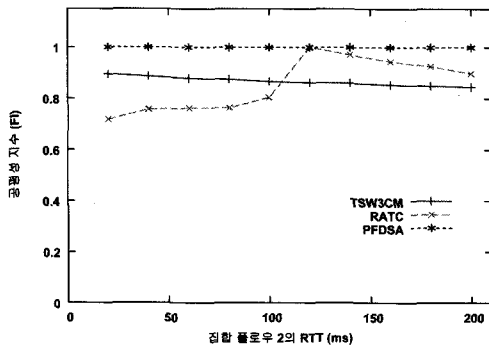


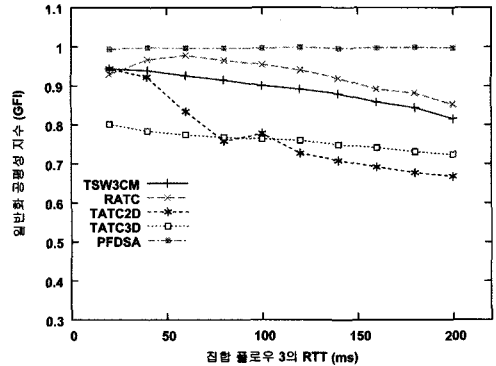
그림 10 UDP 영향에 따른 공평성 지수 변화

4.2.3 다양한 영향이 공존하는 환경에서의 성능 평가

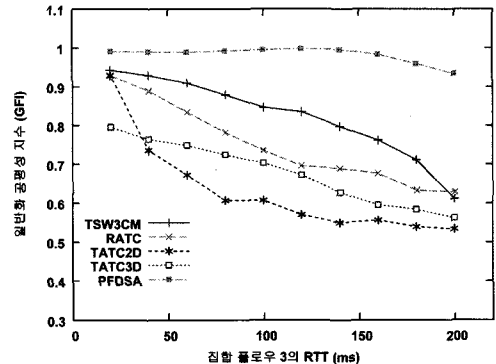
이번 실험에서는 차동서비스에 영향을 주는 RTT, UDP, 목표 전송률 등의 요소들이 동시에 작용할 경우에 대하여 각 기법들의 성능을 평가한다. 실험을 위한 환경 설정은 표 3과 같으며 실험 결과는 그림 11과 같다.

표 3 다양한 영향이 공존하는 환경에서의 실험을 위한 설정

TC	집합플로우 송신단 전송률	RTT (ms)	목표 전송률 (Mbps)	최고 목표 전송률	개별 플로우 수
TSW3CM	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	1(1)	목표 전송률 +1	6
	집합 2 (TCP)	20	4(2)	목표 전송률 +1	6
	집합 3 (TCP)	20~200	2(4)	목표 전송률 +1	6
ITC (RATC, TATC)	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	1(1)	x	6
	집합 2 (TCP)	20	4(2)	x	6
	집합 3 (TCP)	20~200	2(4)	x	
PFDSA	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	개별: 1(1)/6 (집합: 1(1))	x	6
	집합 2 (TCP)	20	개별: 4(2)/6 (집합: 4(2))	x	6
	집합 3 (TCP)	20~200	개별: 2(4)/6 (집합: 2(4))	x	6



(a) UDP (1Mbps), TCP 1 (4Mbps), TCP 2 (2Mbps)



(b) UDP (1Mbps), TCP 1 (2Mbps), TCP 2 (4Mbps)

그림 11 다양한 영향이 공존하는 환경에서 RTT에 따른 일반화 공평성 지수 변화

그림 11의 실험 결과를 보면 다양한 영향이 공존하는 환경에서 기존 연구의 성능은 상당히 저하되는 반면, 제안한 PFDSA는 공평한 대역분배가 가능하다는 사실을 알 수 있다. 집합플로우 3의 RTT 증가에 따른 기존 연구의 성능 저하가 그림 11 (a)보다 그림 11 (b)에서 더 급격하게 발생하는 이유는, RTT가 커지는 집합플로우 3에 가장 큰 4Mbps의 목표 전송률이 설정되었기 때문이다. 즉, 집합플로우 3에서 RTT가 커짐에 따라 전송률이 목표 전송률보다도 작게 되기 때문에, 결과적으로 일반화 공평성 지수의 감소가 커지게 되는 것이다.

4.3 UPN 상황에서의 성능 평가

4.3.1 RTT의 영향에 대한 성능 평가

이번 실험에서는 UPN 상황에서 각 기법들이 RTT의 영향을 완화시킬 수 있는지를 살펴본다. 실험을 위한 환경 설정은 표 4와 같다. 그림 12의 실험 결과를 보면, 기존 연구인 TSW3CM이나 ITC의 RATC는 UPN 상황에서 마킹을 통해 RTT 영향을 완화시킬 수 없으므로, 플로우들 사이의 RTT 차이가 커지면 전송률 차이도 커져서 공평성 지수가 급격히 낮아지게 된다. 그러나 PFDSA는 UPN 상황이 되면 목표 전송률 조정 함수가 동작되어, 에지노드에 목표 전송률을 조정하도록 알려주게 된다. 따라

표 4 UPN 상황에서 RTT 영향에 대한 실험 설정

TC	집합 플로우	RTT (ms)	목표 전송률 (Mbps)	최고 목표 전송률	개별 플로우 수
TSW3CM	집합 1 (TCP)	20	8	목표 전송률+1	6
	집합 2 (TCP)	20~200	8	목표 전송률+1	6
ITC (RATC)	집합 1 (TCP)	20	8	×	6
	집합 2 (TCP)	20~200	8	×	6
PFDSA	집합 1 (TCP)	20	개별: 8/6 (집합: 8)	×	6
	집합 2 (TCP)	20~200	개별: 8/6 (집합: 8)	×	6

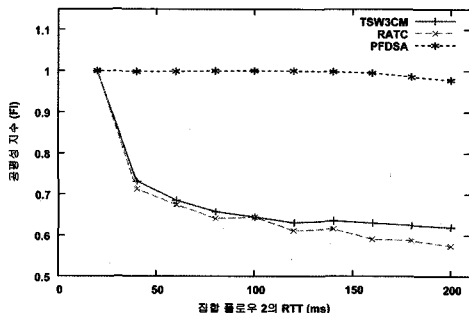


그림 12 UPN 상황에서 RTT에 따른 공평성 지수 변화

서 그림 12에서 볼 수 있듯이 UPN 상황에서도 RTT의 영향을 충분히 완화시켜서 높은 공평성 지수를 유지한다.

4.3.2 UDP의 영향에 대한 성능 평가

UPN 상황에서 UDP 플로우의 영향에 대한 실험을 위하여 표 4와 비슷한 환경을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 표 4의 설정과는 다르게 집합플로우 1을 UDP로 하였으며, UDP의 각 개별플로우의 송신단 전송률은 1.5Mbps로 설정하였다. 그림 13의 실험 결과에서 알 수 있듯이, UPN 상황 및 UDP의 영향을 고려하여 설계한 PFDSA는 UPN 상황에서도 UDP 영향을 완화시키는 효과적인 대역분배를 통해, 기존연구보다 높은 공평성 지수를 유지할 수 있다.

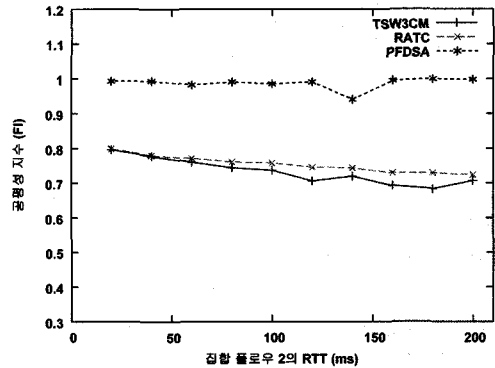


그림 13 UPN 상황에서 UDP 영향에 따른 공평성 지수 변화

4.3.3 다양한 영향이 공존하는 환경에서의 성능 평가

UPN 상황에서 RTT, UDP, 목표 전송률 등의 요소들이 함께 작용할 경우의 성능 평가를 위한 실험 환경 설정은 표 5와 같다. 이번 실험에서는 0~20초 구간에서는 OPN으로, 20~60초 구간에서 집합플로우 2의 유입으로 인한 UPN 상황으로 시뮬레이션을 수행하였다. 목표 전송률에 비례하는 이상적인 대역분배가 이루어졌을 경우에 집합플로우 3의 전송률은 집합플로우 1에 비해 2배가 되어야 하며, 집합플로우 2는 집합플로우 3에 비해 2배가 되어야 한다.

실험 결과인 그림 14를 살펴보면 OPN 상황에서 비교적 양호한 일반화 공평성 지수를 보이던 기존 연구들이 UPN 상황에서 일반화 공평성 지수가 상당히 낮아진다는 사실을 알 수 있다. 그러나 PFDSA는 OPN이나 UPN 상황에서 큰 변화 없이 높은 일반화 공평성 지수 값을 유지한다. 이는 대역분배에 영향을 주는 다양한 요소가 동시에 발생하는 경우에서도, PFDSA는 기존연구와 다르게 목표 전송률에 비례하는 공정한 대역분배 기능을 제공할 수 있음을 나타낸다.

표 5 다양한 영향이 공존하는 환경에서의 실험을 위한 설정

TC	집합플로우 송신단 전송률	RTT (ms)	목표 전송률 (Mbps)	최고 목표전송률	개별 플로우 수
TSW3CM	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	2	목표 전송률 +1	6
	집합 2 (TCP)	20	8	목표 전송률 +1	6
	집합 3 (TCP)	100	4	목표 전송률 +1	6
ITC (RATC, TATC)	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	2	×	6
	집합 2 (TCP)	20	8	×	6
	집합 3 (TCP)	100	4	×	
PFDSA	집합 1 (UDP) 9Mbps	20	개별: 2/6 (집합: 2)	×	6
	집합 2 (TCP)	20	개별: 8 (집합: 8)	×	6
	집합 3 (TCP)	100	개별: 4/6 (집합: 4)	×	6

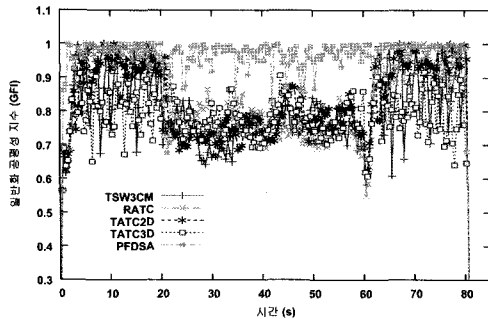


그림 14 다양한 영향이 공존하는 환경에서의 일반화 공평성 지수 변화

5. 결론

네트워크의 빠른 진화와 다양한 서비스의 출현으로 QoS 및 서비스 차별화에 대한 다양한 연구가 주목받고 있다. 특히 인터넷에서 QoS를 지원하기 위한 대표적인 기술로서 차등서비스에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 차등서비스 구조에서는 RTT 및 UDP의 영향으로 인한 불공평한 대역분배 문제, 목표 전송률에 비해하지 않는 전송률 분배 문제 등이 존재한다. 또한 집합플로우와 개별플로우 사이에 일관성 있는 대역분배가 이루어지지 않으며, UPN 상황에서는 최선형 서비스처럼 동작하는 문제가 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 대표적인 연구인 ITC는 RTT, 목표 전송률 비례 문제에 대해 해결 방법을 제시하고 있으나, RTT와 목표 전송률 등을 동시에 고려해야 하는 상황에 대한 해결

방법은 제시하고 있지 않다. 또한 ITC의 TCP-UDP 공평성 제공 방법은 TCP의 RTT에 따라 성능의 차이가 발생하기 때문에 실제 환경에 적용하기는 어렵다.

본 논문에서는 공평한 대역분배 기능을 제공할 수 있는 PFDSA와 PFDSA의 에지노드에서 이용되는 TCP를 위한 tmTRA3CM, UDP를 위한 um3CM과, 코어노드에서 동작하는 TRBD 기법 및 목표 전송률 조정 함수를 제안하였다. 제안한 서비스 모델은 대역분배에 영향을 주는 RTT, UDP, 목표 전송률 등의 다양한 요소가 존재하는 환경에서도 효과적으로 대응할 수 있다. 또한 목표 전송률의 합이 병목 구간 대역폭보다 큰 UPN 상황이 되면 코어노드의 목표 전송률 조정 함수를 통해 목표 전송률을 조정하여 UPN 상황에서 벗어나도록 한다. 본 논문에서는 ns 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해서 TSW3CM, ITC, 그리고 PFDSA 사이의 성능을 비교 분석하였다. RTT에 대한 실험에서 ITC와 PFDSA가 비슷한 성능을 보였으며, UDP 영향에 대한 실험에서는 PFDSA가 TSW3CM이나 ITC에 비해 우수한 성능을 나타내었다. 특히 대역분배에 영향을 주는 여러 요소들이 동시에 존재하거나 UPN 상황이 발생하는 경우에 대한 실험에서, PFDSA가 TSW3CM이나 ITC에 비해 상당히 우수한 성능을 나타낸다는 사실을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 제안한 PFDSA 구조에서 공평성을 제공하기 위해 이용되는 파라미터의 수와 노드들 사이에 교환되는 정보의 양을 줄이는 방법에 대한 연구가 수행되어야 하고, 초고속 네트워크의 특성을 고려한 효율적인 대역분배 방식에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] X. Xiao and L. M. Ni, "Internet QoS: A Big Picture," IEEE Network, Vol. 13, No. 2, pp. 8-18, March 1999.
- [2] E. Crawley, R. Nair, B. Rajagopalan, and H. Sandick, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet," Internet RFC 2386, August 1998.
- [3] S. Blake, D. Blake, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," Internet RFC 2475, December 1998.
- [4] K. Chan, R. Sahita, S. Hahn, and K. McCloghrie, "Differentiated Services Quality of Service Policy Information Base," Internet RFC 3317, March 2003.
- [5] K. Nichols, V. Jacobson, and L. Zhang, "A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet," Internet RFC 2638, July 1999.
- [6] 모상덕, 정광수, "차등 서비스 네트워크의 확산 서비스에서 공평성 향상을 위한 3색 마킹 메커니즘", 한국정보과학회 제 30권 제6호, pp. 764-775, 2003. 12.

- [7] D. Clark and W. Fang, "Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 6, No. 4, pp. 362-373, August 1998.
- [8] J. Ibanez and K. Nichols, "Preliminary Simulation Evaluation of an Assured Service," Internet Draft draft-ibanez-diffserv-assured-eval-00.txt, August 1998.
- [9] N. Seddigh, B. Nandy, and P. Piedad, "Study of TCP and UDP Interaction for the AF PHB," Internet Draft draft-nsbnpp-diffserv-tcpudpaf-01.txt, August 1999.
- [10] N. Seddigh, B. Nandy, and P. Piedad, "Bandwidth Assurance Issues for TCP Flows in a Differentiated Services Network," *Proc. of the IEEE GLOBECOM*, December 1999.
- [11] W. Fang, N. Seddigh, and B. Nandy, "A Time Sliding Window Three Colour Marker (TSWTCM)," Internet RFC 2859, June 2000.
- [12] I. B. H. Alves, J. F. Rezende, and L. F. M. Moraes, "Evaluating Fairness in the Aggregated Traffic Marking," *Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference*, November 2000.
- [13] I. Andrikopoulos, L. Wood, and G. Pavlou, "A Fair Traffic Conditioner for the Assured Service in a Differentiated Services Internet," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Communications*, June 2000.
- [14] A. Habib, B. Bhargava, and S. Fahmy, "A round trip time and timeout aware traffic conditioner for differentiated services networks," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Communications*, April 2002.
- [15] H. Su and M. Antiquzaman, "ItswTCM: A New Aggregate Marker to Improve Fairness in DiffServ," *Computer Communications*, Vol. 26, No. 9, pp. 1018-1027, June 2003.
- [16] B. Nandy, N. Seddigh, P. Piedad, and J. Ethridge, "Intelligent Traffic Conditioners for Assured Forwarding based Differentiated Services Networks," *Proc. of IFIP High Performance Networking*, June 2000.
- [17] M. Mathis, J. Semke, J. Mahdavi, and T. Ott, "The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm," *ACM Computer Communication Review*, Vol. 27, No. 3, July 1997.
- [18] R. Jain, *The art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*, John Wiley and Sons Inc., 1991.
- [19] G. Cheng, K. Xu, Y. Tian, and N. Ansari, "Core-Stateless Proportional Fair Queueing for AF Traffic," *Proc. of the IEEE GLOBECOM*, December 2004.

모 상 덕

정보과학회논문지 : 정보통신
제 32 권 제 2 호 참조

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신
제 32 권 제 2 호 참조