

차등 서비스 네트워크에서 AF 서비스의 공정성 향상 기법

(A Mechanism to Improve the Fairness of the AF Service in Diffserv Network)

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

요약 차등 서비스 네트워크(Diffserv network)의 AF 서비스(Assured Forwarding Service)에 대한 기존 연구는 RTT(Round Trip Time), 목표 전송률(CTR: Committed Target Rate), TCP에 대한 UDP의 영향에 따른 전송률 분배의 공정성에 대한 고려가 부족하다. 본 논문에서는 기존 연구에서의 문제점들을 개선한 TRA3CM(Target rate and RTT Aware 3 Color Marker) 기법 및 TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법을 이용하는 FDSA(Fair Differentiated Service Architecture) 구조를 제안한다. TRA3CM 및 TRBD 기법은 RTT, 목표 전송률, UDP 플로우 등을 고려한 마킹 및 패킷 폐기 기능을 제공하여 집합 플로우들 사이에 공정하게 전송률을 분배할 수 있다. ns 시뮬레이터를 이용하여 기존 방식들과 비교한 결과 제안한 TRA3CM 및 TRBD 기법은 RTT, 목표 전송률 및 UDP를 고려한 공평한 대역분배 기능이 기존 방식에 비해 우수함을 확인할 수 있었다.

키워드 : 차등 서비스, AF 서비스, FDSA, TRA3CM, TRBD, RTT, 목표 전송률, 공정성

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 RTTs, the target rates, and the impact of UDP against TCP. In this paper, in order to solve these problems, we propose a FDSA(Fair Differentiated Service Architecture) composed of TRA3CM(Target rate and RTT Aware 3 Color Marking) and TRBD(Target Rate Based Dropping) mechanisms. The TRA3CM and TRBD mechanisms provide three color marking and fair transmission rates among aggregate flows by considering RTT, target rate, and UDP flows simultaneously. In the results of comparing the performance among existing mechanisms and the TRA3CM-TRBD, the TRA3CM-TRBD mechanism was able to mitigate the RTT and UDP effect better than the former. The TRA3CM-TRBD is shown to provide good performance for transmission rates proportional to various target rates.

Key words : Diffserv, AF Service, FDSA, TRA3CM, TRBD, RTT, Target Rate, Fairness

1. 서론

현재의 인터넷은 초고속 네트워크의 실현으로 VoIP, VoD, 화상회의 등의 멀티미디어 서비스 트래픽이 전체 인터넷 트래픽에서 많은 대역을 점유하며 발전하고 있다. 이러한 서비스들은 최선형 서비스(best-effort services)에는 부족한 다양한 요구사항을 갖는 서비스들이다. 따라서 기존의 네트워크 구조에서 제공하지 않는 요

구사항을 충족시키기 위하여 다양한 환경에서 IETF(Internet Engineering Task Force)의 차등 서비스(Differentiated Services) 구조에 대한 연구가 진행되고 있다[1]. 차등 서비스에서는 제공하고자 하는 서비스에 따라 클래스를 나누고 각 클래스에 속하는 플로우들에게 해당하는 서비스를 제공한다. 차등 서비스는 일반적으로 고급 서비스(Premium Service)와 확신 서비스(Assured Service)로 나눌 수 있다. 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[2,3]. 확신 서비스에서 이용될 수 있는 AF(Assured Forwarding) 서비스는 4

· 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성, 지원 사업의 연구결과로 수행되었음

[†] 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과
sdmo@adams.kw.ac.kr

^{**} 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수
kchung@daisy.kwangwoon.ac.kr

논문접수 : 2004년 5월 24일

심사완료 : 2004년 9월 13일

개의 클래스로 나누어지고 각 클래스는 3개의 폐기 선호도(drop precedence)를 갖게 된다.

차등 서비스의 클래스에 기반한 패킷 분류는 에지노드(edge node)에서 이루어지게 되며 분류된 패킷에는 DSCP(Differentiated Services Code Point)가 마킹(marking)된다. 마킹된 패킷은 코어노드(core node)에서 각 DSCP에 대응하는 PHB(Per Hop Behavior)의 동작에 따라 차별화된 서비스를 제공받는다. 차등 서비스에서는 다양한 PHB가 존재하지만 AF 서비스에서는 일반적으로 RED(Random Early Detection)를 확장한 RIO(RED with In/Out) 또는 MRED(Multiple RED) 방식을 이용하고 있다[4,5]. AF 서비스에서 패킷을 분류하고 마킹하는 방법은 크게 평균 전송률 예측 기반 방식과 토큰 버킷 기반의 방식으로 구분될 수 있다[6-8]. 평균 전송률 예측 기반 방식은 평균 전송률을 이용하여 마킹 확률을 계산하고 이 확률 값에 따라 마킹하게 되며, 토큰 버킷 기반 방식은 버킷의 크기와 토큰이 채워지는 속도를 이용하여 마킹을 결정한다.

차등 서비스에서 같은 클래스에 속하는 TCP 플로우들은 같은 등급의 서비스를 제공 받아야 하지만 UDP와 같은 무응답 플로우에 의한 영향, RTT(Round Trip Time)의 차이, 목표 전송률(CTR: Committed Target Rate)의 차이 등의 이유로 같은 클래스에 속하는 플로우들 사이에서도 전송률이 다르게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대표적인 연구로는 지능형 TC(Intelligent Traffic Conditioner)가 있다[9]. 그러나 지능형 TC도 RTT, 목표 전송률, UDP 등을 모두 고려한 전송률 분배 기능을 제공하기 어렵다.

본 논문에서는 다양한 특성을 갖는 플로우들 사이에 공평한 대역분배가 가능한 FDSA(Fair Differentiated Service Architecture)를 제안한다. 특히 TCP 및 TCP-UDP 플로우들 사이에서 발생할 수 있는 대역분배 문제를 해결하고 공평성을 향상시키기 위하여, RTT 및 목표 전송률을 고려한 3색 마킹(TRA3CM: Target rate and RTT Aware 3 Color Marker) 기법과 TCP-UDP 공평성을 고려한 TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법을 제안한다. FDSA의 에지노드에 TRA3CM 기법을, 코어노드에 TRBD 기법을 적용하여 다양한 플로우들 사이에서 불공평한 대역분배 문제를 해결할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 TRA3CM 기법은 평균 전송률 예측 기반 방식인 TSW(Time Sliding Window) 마킹 기법을 개선하여, RTT 및 목표 전송률에 따라 Green, Yellow 및 Red로 마킹되는 확률을 조정함으로써 RTT에 의한 영향을 최소화 시킨다. 또한 각 집합 플로우의 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 하여 공평성을 향상시킨다. TRBD 기법은 TCP-UDP

플로우들 사이에 제약한 목표 전송률에 비례하는 대역분배가 이루어지도록 UDP 패킷의 폐기율을 관리하여, TCP-UDP 사이의 불공평한 대역분배 문제를 해결한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 차등 서비스 네트워크에서 공평성 향상에 대한 관련 연구를 기술하고, 3장에서 제안한 FDSA, TRA3CM, 그리고 TRBD에 대하여 설명한다. 4장에서는 ns 시뮬레이터를 이용하여 TSW 마킹 기법, 지능형 TC, TRA3CM 및 TRBD 기법을 적용한 FDSA의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

차등 서비스 네트워크에서 AF 서비스의 마킹에 대한 연구로 토큰 버킷 기반 방식의 SRTCM(Single Rate Three Color Marker), TRTCM(Two Rate Three Color Marker) 등이 있으며, 평균 전송률 예측 기반 방식에는 TSW3CM(Time Sliding Window Three Color Marker)이 있다[6-8]. 코어노드에서는 DSCP에 따라 패킷을 처리하기 위한 PHB로 RIO 또는 MRED 방식이 일반적으로 이용된다. 차등 서비스 네트워크에서 공평성을 향상시키기 위한 연구는 토큰 버킷 방식을 기반으로 하는 [10], [11] 등과 평균 전송률 예측 방식을 기반으로 하는 지능형 TC 등으로 분류할 수 있다[9,12,13]. [10], [11]은 토큰 버킷에 FRED(Flow Random Early Drop)를 적용시켜 무응답 플로우의 영향을 감소시키고 있다. 그러나 FRED 알고리즘은 TCP 플로우들의 RTT 차이에 의한 효과를 완화시켜 주지는 못하기 때문에 FRED를 적용하는 [10], [11]은 RTT에 의해 큰 영향을 받는다. 지능형 TC에서는 상대적으로 RTT가 높거나 목표 전송률이 높은 집합 플로우에 대해서 IN으로 마킹되는 패킷의 양을 증가시킴으로써, RTT에 의한 영향을 감소시키고 목표 전송률에 비례한 전송률을 얻도록 하고 있다. 그러나 지능형 TC에서는 TSW 방식에서처럼 고정된 시간 창 길이를 이용하고 있기 때문에 평균 전송률 예측에서 오차가 커질 수 있으며 다양한 응용에 적용하기에는 부족한 2색 마킹만을 제공한다. 또한 RTT와 목표 전송률을 동시에 고려하는 기법이 존재하지 않는다. 지능형 TC에서는 TCP-UDP 사이의 공평한 대역분배를 위한 방법으로 TCP 플로우와 UDP 플로우를 다른 클래스로 다루거나 다른 폐기 선호도를 갖도록 하는 방법을 제안하고 있다. TCP 플로우와 UDP 플로우를 다른 클래스에 할당하는 방법은 차등 서비스 네트워크에서 이용 가능한 클래스를 낭비하는 커다란 단점을 갖게 되며, 다른 폐기 선호도를 갖도록 하는 방법은 특정 패킷을 보호하거나 목표 전송률에 비례하는 대역분배에 어려움이 존재하며, TCP 플로우의 RTT에 따라 공평성

이 영향을 받는다.

2.1 TSW(Time Sliding Window) 마킹 기법

TSW 마킹 기법은 집합 플로우의 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. 그림 1은 TSW 방식의 AF 서비스를 제공하는 기본적인 차등 서비스 네트워크의 구조를 보이고 있다. TSW 방식을 이용하는 TC(traffic conditioner)는 패킷을 분류하는 분류기(classifier), 평균 전송률을 예측하는 TSW 측정기(meter), 패킷에 마킹하는 마커(marker)와 MRED 방식을 이용하여 패킷의 폐기를 결정하는 폐기기(dropper) 등으로 구성된다.

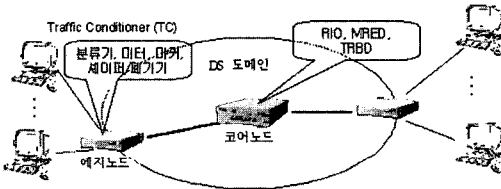


그림 1 차등 서비스 네트워크 구조

2.1.1 TSW 측정기(meter)

TSW 방식에서 평균 전송률 예측은 시간 창 개념을 이용하여 이루어진다. 그림 2는 시간 창(time window)의 개념을 나타내고 있다. 시간 t_{n-1} 과 t_n 은 각각 n-1번째 및 n번째 패킷이 도착한 시간을 나타내고 T_{wl} 은 시간 창 크기를 나타낸다.

시간 창을 이용한 평균 전송률 R_{avg} 의 계산은 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다. 가장 최근에 예측된 평균 전송률 R_{avg} 와 시간 창 길이 T_{wl} 을 곱하여 T_{wl} 동안 전송된 평균 데이터 양을 구하고, 여기에 막 도착한 패킷의 크기 D_n 을 더해서 데이터 양 D_{total} 을 계산한다. 그리고 이 D_{total} 을 시간 창 길이와 n-1번째 패킷이 도착한 시각 이후로 지난 시간의 합인 $T_{wl} + (t_n - t_{n-1})$ 으로 나누어 새로운 평균 전송률 R_{avg} 를 구하게 된다.

$$D_{total} = R_{avg} \times T_{wl} + D_n \quad (1)$$

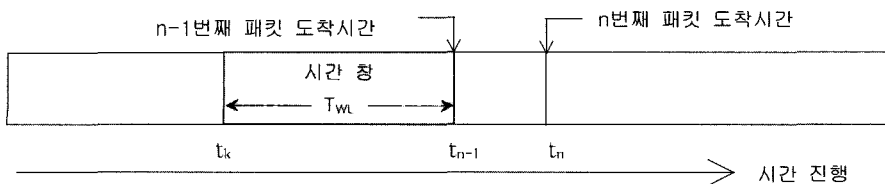


그림 2 TSW 방식의 평균 전송률 측정

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

TSW 방식에서 평균 전송률 예측에 이용하는 고정된 시간 창 길이를 사용한 계산은 시간 창 길이에 비해 RTT가 상대적으로 크거나 작을 경우에 큰 오차가 발생할 수 있다. 시간 창 길이에 비해 RTT가 작을 경우에는 실제 전송률의 급격한 증가를 인지하는 시간이 길어지게 되고 반대로 RTT가 클 경우에는 정상적인 전송률 예측이 불가능하게 된다.

2.1.2 TSW 마커(marker)

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 3은 TSW 마커의 알고리즘을 나타낸다.

R_{avg} = 예측된 평균 전송률

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 3 TSW 마킹 알고리즘

TSW 방식은 기본적으로 3색 마킹을 이용하지만 R_p 값을 무한대로 설정함으로써 2색 마킹(TSW2CM: Time Sliding Window 2 Color Marker)을 제공할 수도 있다. 그러나 TSW 알고리즘에서는 RTT, 목표 전송률, TCP-UDP 공평성 문제 등은 고려하고 있지 않다.

2.2 지능형 TC(Intelligent Traffic Conditioner)

지능형 TC는 TSW 알고리즘에서 발생할 수 있는 집합 플로우 사이의 RTT 차이에 의한 불공평성, 목표 전송률에 비례하지 않는 전송률 분배 문제, 그리고 TCP-UDP 불공평성 문제를 해결하기 위해 [9]에서 제안되었다. 지능형 TC의 측정기와 마커의 기본 알고리즘은 TSW2CM 방식과 동일하다. 그러나 지능형 TC는 RTT 및 목표 전송률을 고려하여 집합 플로우 1, 2의 OUT으로 마킹되는 확률을 계산하며, TCP의 OUT 패킷과 UDP의 OUT 패킷에 다른 폐기 선호도를 할당한다. 지능형 TC는 RTT만을 고려한 RATC(Rate Aware Traffic Conditioner), 목표 전송률만을 고려한 TATC(Target Aware Traffic Conditioner), 그리고 RATC/TATC에서 TCP 플로우와 UDP 플로우의 OUT 패킷에 폐기 선호도 할당을 다르게 하는 DDPM(Different Drop Precedence Mapping)으로 구분될 수 있다.

RATC에서는 TCP의 전송률 R, RTT 및 폐기 확률 P 사이의 관계를 나타내는 식 (3)을 이용하여 계산한 확률을 마킹에 이용한다[14]. R_1 , R_2 가 각각 1, 2번 집합 플로우의 전송률을 나타내고 RTT_1 , RTT_2 는 RTT를, P_1 , P_2 가 폐기 확률을 나타낸다고 할 때, 1, 2번 집합 플로우의 전송률이 RTT에 독립적으로 같도록 하기 위해서는 식 (4)가 만족해야 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 P_2 의 폐기 확률과 RTT 사이의 관계를 구하면 식 (5)와 같다. RATC에서는 P_1 과 P_{out1} , P_2 와 P_{out2} 가 각각 같다고 가정함으로써 식 (6), (7)과 같이 OUT으로 마킹될 확률을 유도할 수 있다. 여기서 P_{out1} , P_{out2} 는 OUT으로 마킹될 확률을 나타낸다.

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

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

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

집합 플로우 1을 차등 서비스 네트워크에서 가장 RTT가 작은 플로우로 가정할 경우에 집합 플로우 1, 2의 RTT와 P_{out1} 을 알면 이를 이용하여 집합 플로우 2의 OUT 마킹 확률을 얻을 수 있다. 각 집합 플로우의 RTT 값은 미리 설정된 전송 지연(transmission delay)을 이용하거나 에지노드에서 측정에 의해 구할 수 있으며, 차등 서비스 네트워크 내의 최소 RTT를 얻기 위해서는 에지노드 사이의 정보 교환이 필요하다. 집합 플로우 1, 2 사이에 공평한 대역분배가 이루어지면 R_{avg} 와

R_C 는 두 집합 플로우가 같은 값을 갖게 되므로, 집합 플로우 2의 R_{avg} 를 이용하여 P_{out1} 을 계산할 수 있다.

TATC는 두 집합 플로우의 RTT가 같다고 가정할 때 식 (8)을 이용하여 각 집합 플로우의 전송률이 각각의 목표 전송률에 비례하도록 할 수 있다. 이는 식 (7)과 비슷한 방법으로 유도될 수 있다. 지능형 TC의 TATC2D(Target Aware TC with 2 drop precedence)는 2색 마킹 기법을 이용하고, TATC3D(Target Aware TC with 3 drop precedence)는 3색 마킹 기법을 이용하고 있다. 그러나 TATC3D는 3색 마킹을 위하여 계약에 의한 최고 목표 전송률을 이용하지 않고 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 만들기 위한 목적으로 3색 마킹을 이용하고 있다. 식 (8)에서 $\min Target$ 은 차등 서비스 네트워크의 목표 전송률 중 최소 값을 나타내고 aggrTarget 은 해당 플로우의 목표 전송률을 나타낸다. P_G , P_Y , P_R 은 각각 Green, Yellow, Red로 마킹될 확률을 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} P_{out2} &= \left(\frac{\min Target}{\text{aggrTarget}} \right)^2 P_{out1} \} TATC2D \\ P_{C2} &= \frac{R_C}{R_{avg}} \\ P_{Y2} &= \left(1 - \frac{\min Target}{\text{aggrTarget}} \right) P_{C2} \\ P_{R2} &= \left(\frac{\min Target}{\text{aggrTarget}} \right) P_{C2} \} TATC3D \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

DDPM은 모두 6가지 시나리오를 가지고 있는데 이중에 TCP-UDP 대역분배에 가장 적합한 시나리오는 TCP 플로우의 OUT 패킷을 모두 Yellow로 마킹하고, UDP 플로우의 OUT 패킷은 모두 Red로 마킹하는 방법이다. 즉, RATC나 TATC의 방법을 이용하여 IN 또는 OUT 마킹 확률을 구하고 이를 이용하여 IN으로 마킹될 패킷과 OUT으로 마킹될 패킷을 구분하게 된다. 그리고 실제 마킹에서 DDPM을 이용하여 IN 패킷은 모두 Green으로 마킹하고, 스스로 전송률을 제어하는 TCP의 OUT 패킷은 Yellow로, 전송률을 제어하지 않는 UDP의 OUT 패킷은 Red로 마킹한다. 그러나 DDPM을 이용할 경우 TCP 플로우의 RTT에 따라 TCP-UDP 공평성이 큰 영향을 받는다.

지능형 TC는 TSW 방식과 같이 고정된 시간 창 길이와 관련된 문제를 갖게 된다. 또한 기본적으로 2색 마킹만을 제공하기 때문에 패킷의 중요도 구분이 2개로 제한된다. 지능형 TC는 각각 RTT와 목표 전송률을 고려한 RATC 및 TATC를 제안하고 있지만, 동시에 적용할 수 있는 기법은 제공하지 않는다. 지능형 TC에서 TCP-UDP 사이의 공평한 대역분배를 위해 제안하고 있는 DDPM은 UDP의 모든 OUT 패킷을 Red로 마킹하기 때문에 오히려 UDP의 성능이 TCP에 비해 상당히 저하될 수 있다.

3. TRA3CM-TRBD를 이용한 공평성 향상 기법

기존 연구들은 제한된 범위의 공평성만을 제공하고 있으며, RTT, 목표 전송률, TCP-UDP 플로우의 공존 등을 모두 고려한 공평성을 제공하지는 못한다. 또한 TCP-UDP 공평성을 제공하기 위해 마킹 기법만을 이용하는 한계를 가지고 있다. 본 장에서는 차등 서비스 네트워크에서 공평한 대역분배를 제공할 수 있는 FDSA (Fair Differentiated Service Architecture)를 제안한다. 또한 FDSA와 함께 이용될 수 있는, TCP 플로우의 RTT 및 목표 전송률에 따른 공평성 문제를 해결할 수 있는 3색 마킹 기법인 TRA3CM과 TCP-UDP 공평성 향상을 위한 TRBD를 제안한다. TRA3CM에서는 지능형 TC와는 다르게 3색 마킹을 제공하며, 고정된 시간 창 길이에 대신에 현재 RTT 값을 시간 창 길이로 이용하여 평균 전송률 예측 오차를 감소시킨다. TRA3CM은 RTT 및 목표 전송률을 동시에 고려하여 목표 전송률에 비례한 전송률을 제공할 수 있다. TRBD 기법은 코어노드에서 목표 전송률에 따라 UDP의 폐기 확률을 조정하여 TCP-UDP 공평성 및 목표 전송률을 고려한 공평성을 향상시킬 수 있다.

3.1 FDSA(Fair Differentiated Service Architecture)

차등 서비스 네트워크에서 공평성 문제를 해결하기 위한 기존 연구는 에지노드에서의 마킹 방법에 대한 연구에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 에지노드에서의 마킹만으로는 RTT, 목표 전송률, UDP의 무응답성 등의 다양한 요소를 모두 고려하는 공평한 대역분배를 이루기 어렵다. 이러한 다양한 요소들을 모두 고려하는 공평한 대역분배를 제공하기 위해서는 에지노드와 코어노드의 상호보완이 필요하다. 본 논문에서는 에지노드와

코어노드가 상호 보완하여 공평한 대역분배를 제공할 수 있는 FDSA를 제안한다. 그림 4는 FDSA의 구성을 나타내며 동작방법은 다음과 같다.

패킷이 에지노드에 유입되면 분류기는 패킷이 어떤 서비스를 받아야 하는 지 판단하고 관련정보를 제어기와 측정기에 보낸다. 측정기에서는 패킷이 소속된 플로우의 RTT, 전송률 등을 측정하여 마커에게 알려주게 되고, 제어기에서는 정책DB를 참조하여 유입된 패킷에 알맞은 마커를 선택하고 마킹에 필요한 정보를 이용하여 해당 마커를 설정한다. 선택된 마커는 제어기 및 측정기로부터 전달받은 정보를 이용하여 패킷을 마킹하게 된다. 마킹된 패킷은 제어기에 의해 선택된 폐기기/셰이퍼를 거쳐 코어노드로 전송된다. 코어노드의 분류기는 패킷이 유입되면 패킷의 마킹정보를 제어기에 전달하게 되고, 제어기는 정책DB를 참조하여 패킷에 적용될 폐기기/스케줄러를 선택한다. 선택된 폐기기/스케줄러는 제어기로부터 제공되는 정보를 이용하여 유입된 패킷에 알맞은 서비스를 제공하게 된다. FDSA에서는 정책에 따라 다양한 서비스의 제공이 가능하며, 특히 플로우들의 특성에 따라 마커, 폐기기/스케줄러 등을 조정하여 공평한 대역분배가 이루어지도록 할 수 있다. 본 논문에서는 RTT, 목표 전송률, UDP 등의 영향을 줄여 공평한 대역분배를 제공하기 위해, FDSA에 적용 가능한 TRA3CM과 TRBD 기법을 제안하였다.

3.2 TRA3CM(Target rate and RTT Aware 3 Color Marker)

FDSA의 에지노드에서 동작 가능한 TRA3CM은 RTT 및 목표 전송률을 고려하여 TCP 플로우들의 대역분배를 조정한다. TRA3CM은 기본적으로 Yellow와

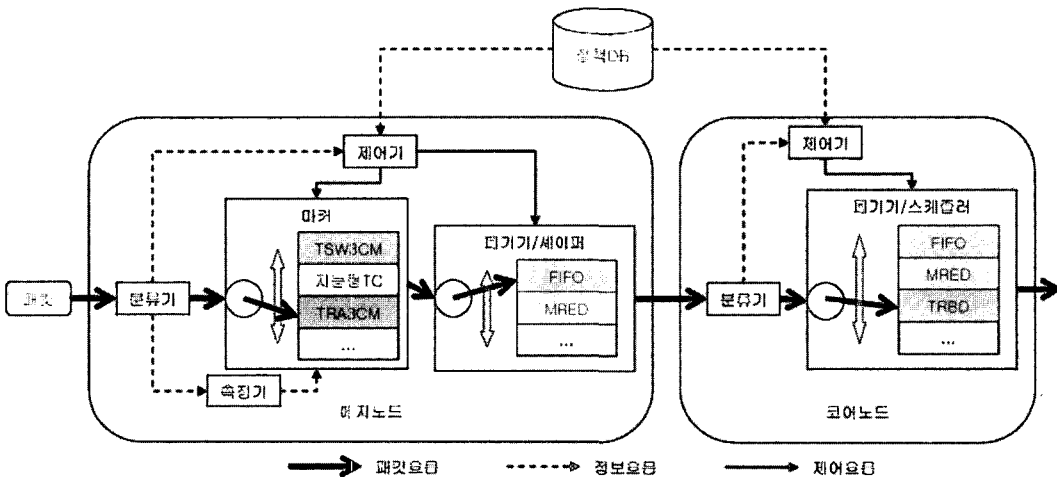


그림 4 FDSA의 논리적 구성

Red 마킹 확률을 조정하여 RTT의 영향을 완화시키고, 전송률이 목표 전송률에 비례하도록 한다. TRA3CM의 마킹 확률 계산에서 기본적인 표기는 지능형 TC에서와 동일하며, 집합 플로우 1이 차등 서비스 네트워크에서의 최소 RTT를 갖는다고 가정하여 집합 플로우 2의 각 색별 마킹 확률을 계산한다.

3.2.1 TRA3CM 마킹 확률

TRA3CM은 지능형 TC와는 다르게 3색 마킹을 제공 하면서 RTT의 영향을 최소화시킬 수 있고, 목표 전송률에 비례하는 전송률을 제공할 수 있다. TRA3CM의 패킷 마킹 확률 계산은 지능형 TC와 비슷하게 식 (3)으로부터 유도된다. 식 (9)는 식 (3)으로부터 유도된 목표 전송률을 포함한 패킷 폐기 확률을 나타내고 있으며 식 (10)은 패킷 폐기 확률 P_{G1} 과 P_{Y2} 를 나타내고 있다. 여기서 아래 첨자 1, 2는 집합 플로우 1, 2를, R, Rc는 각 집합 플로우의 예측된 평균 전송률 및 목표 전송률을 나타내고, P_{Gd} , P_{Yd} , P_{Rd} 는 각각 Green, Yellow, Red 패킷의 폐기 확률을 나타낸다. 지능형 TC에서처럼 집합 플로우 1의 RTT를 네트워크 내의 최소 RTT로 가정한다. 이러한 RTT 들은 지능형 TC와 동일하게 에지노드에서 측정된다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{R_{C1}}{R_{C2}} = \frac{RTT_2}{RTT_1} \frac{\sqrt{P_2}}{\sqrt{P_1}} \\ P_2 &= \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 \left(\frac{R_{C1}}{R_{C2}} \right)^2 P_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= P_{Gd1} + P_{Yd1} + P_{Rd1} \\ P_2 &= P_{Gd2} + P_{Yd2} + P_{Rd2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

집합 플로우의 각 색별 패킷 폐기 확률 P_{Gd} , P_{Yd} , P_{Rd} 는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 P_G , P_Y 와 P_R 는 각각 Green, Yellow, Red 마킹 확률이다. g , y , r 은 3색 각각에서의 폐기 확률이다. g , y , r 값은 에지노드에서 측정에 의해서 또는 코어노드의 정보 제공에 의해 얻을 수 있다. 각 집합 플로우 사이의 g , y , r 관계는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} P_{Gd1} &= g_1 P_{G1}, & P_{Gd2} &= g_2 P_{G2} \\ P_{Yd1} &= y_1 P_{Y1}, & P_{Yd2} &= y_2 P_{Y2} \\ P_{Rd1} &= r_1 P_{R1}, & P_{Rd2} &= r_2 P_{R2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$P_{G1} + P_{Y1} + P_{R1} = 1, \quad P_{G2} + P_{Y2} + P_{R2} = 1 \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} g &= g_1 = g_2, & y &= y_1 = y_2, & r &= r_1 = r_2 \\ 0 &\leq g \leq 1, & 0 &\leq y \leq 1, & 0 &\leq r \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

식 (10), (11), (13)을 식(9)에 적용하면 식 (14)를 얻을 수 있고 이를 g , y , r 에 대하여 정리하면 식 (15)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 식 (15)에서 g , y , r 은 코어노드의 MRED 기법에 따라 0에서 1 사이의 값을 갖게 된다. y 는 r 이 1보다 작은 경우에는 0으로 유지되며 r 이 1이 되면 0과 1 사이의 값을 갖는다. 이러한 g , y , r 값에 따라 식 (15)를 분류하면 식 (16), (17)로 나눌 수 있다.

$$a^2 = \left(\frac{RTT_1}{RTT_2} \right)^2 \left(\frac{R_{C1}}{R_{C2}} \right)^2 \left. \begin{aligned} g P_{G2} + y P_{Y2} + r P_{R2} &= a^2 g P_{G1} + a^2 y P_{Y1} + a^2 r P_{R1} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$(P_{G2} - a^2 P_{G1})g + (P_{Y2} - a^2 P_{Y1})y + (P_{R2} - a^2 P_{R1})r = 0 \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{if } & 0 \leq r < 1, \quad y=0, \quad g=0 \\ \text{then } & (P_{R2} - a^2 P_{R1})r = 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{if } & r=1, \quad 0 < y < 1, \quad g=0 \\ \text{then } & (P_{Y2} - a^2 P_{Y1})y + (P_{R2} - a^2 P_{R1})r = 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

여기서 P_{G1} , P_{Y1} , P_{R1} 은 TSW 방식의 마킹 확률 계산과 식 (9)로부터 유도되어 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (18)에서 R_{C2} , R_{P2} 는 각각 목표 전송률과 최고 목표 전송률을 나타내며, 서비스 제공자와 사용자간 계약에 의해 결정될 수 있다. 식 (12)와 (18)을 식 (16), (17)에 적용하여 각 색별 마킹 확률을 정리하면 식 (19), (20), (21)과 같다.

$$P_{G1} = \frac{R_{C2}}{R_2}, \quad P_{Y1} = \frac{R_{P2} - R_{C2}}{R_2}, \quad P_{R1} = \frac{R_2 - R_{P2}}{R_2} \quad (18)$$

$$P_{G2} = P_{G1} = \frac{R_{C2}}{R_2} \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{Y2} &= a^2 P_{Y1} + \frac{1-a^2}{1-y} (1-P_{G1}) \\ &= a^2 \frac{R_{P2} - R_{C2}}{R_2} + \frac{1-a^2}{1-y} \left(\frac{R_2 - R_{C2}}{R_2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{R2} &= a^2 P_{R1} - \frac{y(1-a^2)}{1-y} (1-P_{G1}) \\ &= a^2 \frac{R_2 - R_{P2}}{R_2} - \frac{y(1-a^2)}{1-y} \left(\frac{R_2 - R_{C2}}{R_2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

3.2.2 TRA3CM 마킹 알고리즘

TRA3CM의 마킹 알고리즘에서는 고정된 시간 창 길이 대신에 RTT를 시간 창 길이로 이용하여 평균 전송률을 예측한다. 시간 창 길이에 비해 RTT가 상대적으로 크거나 작을 경우에 발생할 수 있는 오차를 감소시킬 수 있다. 이렇게 예측된 평균 전송률은 식 (19), (20), (21)과 함께 TRA3CM의 동작에 이용되며, 실제 마킹 알고리즘은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 패킷이 도착할 때마다 그림 5의 마킹 알고리즘에 따라 마킹 동작이 이루어진다.

예측된 평균 전송률이 목표 전송률보다 크다면 기본적으로 식 (19), (20), (21)에 기반한 마킹 확률을 이용하여 패킷을 마킹하게 된다. 이때 y 는 혼잡 상황의 정도를 결정하기 위하여 이용된다. y 가 1이라면 현재 혼잡 상황으로 인해 모든 Yellow 및 Red 패킷이 폐기되고 있다는 사실을 나타내므로, Green 패킷 이외의 패킷은 Red로 마킹하여 빠르게 혼잡 상황에서 벗어날 수 있도록 한다. y 가 1보다 작은 경우에는 각 색의 마킹 확률을 계산하여 패킷들을 마킹하게 된다.

마킹을 위한 P_G , P_Y , P_R 의 계산에서 P_R 은 음수 값이 되고 P_Y 는 그만큼 더 증가되는 경우가 있는데, 이는

```

 $d^i = \text{RTT}$  및 목표 전송률 계수
 $R_{avg}$  - 예측된 평균 전송률
 $R_P$  - 계약된 최고 목표 전송률
 $R_C$  - 계약된 목표 전송률

if ( $R_{avg} \leq R_C$ )
    Green 마킹
else  $P_G =$  식 (19)
    if ( $y == 1$ )
         $P_G$  확률로 Green 마킹
         $(1 - P_G)$  확률로 Red 마킹
    else
        if ( $R_{avg} < R_P$ )  $R_P = R_C$ 
             $P_Y =$  식 (20),  $P_R =$  식 (21)
             $P_G$  확률로 Green 마킹
            if ( $P_R < 0$ )
                 $(1 - P_G)$  확률로 Yellow 마킹
        else
             $P_Y$  확률로 Yellow 마킹
             $P_R$  확률로 Red 마킹
    
```

그림 5 TRA3CM 마킹 알고리즘

Yellow로 마킹해야 될 패킷이 부족한 경우에 발생한다. 두 집합 플로우의 RTT 차이가 너무 커서 마킹 확률 조정으로 RTT의 영향력을 상쇄할 수 없게 되는 것이다. 이러한 경우에도 Green 패킷은 계약 값만큼 보장하고, 나머지 패킷들은 모두 Yellow로 마킹함으로써 가능한 범위에서 RTT의 영향을 완화시키고 있다.

3.3 TRBD(Target Rate Based Dropping) 기법

FDSA의 코어노드에서는 TCP 패킷의 폐기 판단은 MRED를 이용하고, UDP 패킷의 폐기 판단은 TRBD 기법을 이용하여 TCP-UDP 플로우 사이에 목표 전송률에 비례하는 대역분배를 제공한다. TRBD에서 목표 전송률을 고려한 패킷 폐기 확률을 계산하기 위해서는 각 플로우의 목표 전송률이 필요하다. 이러한 목표 전송률 관련 정보를 코어노드에서 직접적으로 알 수 없기 때문에, 유입 및 전송되는 패킷의 히스토리를 기록하고 분석하여 플로우의 유입 전송률 대 목표 전송률의 비율을 구하여 이용한다. 코어노드에서의 히스토리 기록 및 처리는 기존 차등 서비스 네트워크에 비해 상대적으로 많은 자원을 필요로 하지만, 메모리 및 프로세서가 고성능화, 저가화 되고 있고 이러한 기능을 추가함으로써 인헤연을 수 있는 이득을 고려할 때 합리적인 선택이라 할 수 있다.

코어노드의 유입 히스토리에 기록되어 있는 i 플로우의 Green 패킷 및 전체 패킷의 수를 각각 N_{gi} , N_i 라 할 때, i 플로우의 유입 전송률 대 목표 전송률의 비율은 식 (22)의 α_i 와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{N_{gi}}{N_i} \tag{22}$$

$$\alpha_d = \alpha_i - \alpha_a \tag{23}$$

이 α_i 가 전송 히스토리에 기록된 플로우들의 평균 비

율 값인 α_a 보다 크다면, i 플로우가 다른 플로우들 보다 식 (23)의 α_d 비율만큼 목표 전송률 대비 더 많은 패킷이 코어노드로 유입되고 있다는 것을 나타낸다. 따라서 α_d/α_i 확률로 유입되는 패킷을 폐기시킴으로써 목표 전송률에 비례하는 적당한 전송률을 유지할 수 있다. 이를 위한 패킷 폐기 확률 p_d 는 식 (23)를 이용하여 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_d = \frac{\alpha_d}{\alpha_i} = 1 - \frac{\alpha_a}{\alpha_i} \tag{24}$$

α_i 가 α_a 보다 큰 플로우에 대하여 p_d 의 확률로 유입되는 패킷들을 폐기시킴으로써 목표 전송률에 비례하는 전송률로 유지시킬 수 있다. 그러나 유입되는 패킷들은 Green, Yellow, Red로 마킹되어 있고, 각 마킹에 따라 다른 폐기확률이 적용되어야 한다. 마킹에 따른 폐기확률을 결정하기 위해서 해당 플로우의 유입 히스토리로부터 Yellow 및 Red 마킹확률 정보를 가져와서 그림 6과 같이 패킷 폐기를 판단한다. 예를 들어 Red 패킷의 경우에 p_d 가 P_R 보다 작은 경우에는 p_{dr} 의 확률로 폐기되지만, p_d 가 P_R 보다 크고 $(p_d - P_R)$ 이 P_Y 보다 작은 경우에는 항상 폐기된다.

TRBD 기법을 이용하는 코어노드의 전체적인 동작 순서를 살펴보면 그림 7과 같다. 먼저 패킷이 코어노드로 유입되면, 히스토리 정보를 갱신하고 TCP 패킷인지 UDP 패킷인지를 판별한다. TCP 패킷일 경우에는 MRED를 이용하여 패킷을 처리하고 처리 결과에 따라 관련 정보를 수정한다. UDP 패킷의 경우에는 평균 큐 사이즈를 이용하여 혼잡상황 여부를 판단한다. 혼잡상황으로 판단되면 패킷 폐기확률을 계산하고 그림 6의 알고리즘을 이용하여 패킷의 폐기 여부를 판단하고 패킷을 처리한다. 혼잡상황이 아닐 경우에는 패킷을 폐기하지 않는다.

```

 $P_Y$ : Yellow 마킹 확률
 $P_R$ : Red 마킹 확률
 $p_{dy}$ ,  $p_{dr}$ : 각각 Yellow, Red 패킷 폐기 확률

if  $p_d < P_R$ :
     $p_{dy} = 0$ 
     $p_{dr} = p_d/P_R$ 
else if  $(p_d - P_R) < P_Y$ :
     $p_{dy} = (p_d - P_R) / P_Y$ 
     $p_{dr} = 1$ 
    
```

그림 6 TRBD에서의 패킷 폐기 판단

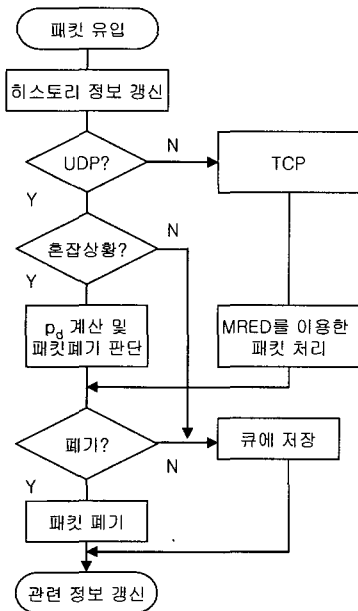


그림 7 TRBD 기법의 동작 순서

4. 실험 및 성능 평가

본 장에서는 2장에서 설명한 TSW 방식 및 지능형 TC와 3장에서 제안한 FDSA의 TRA3CM 및 TRBD 기법을 비교 분석한다. 기존 기법 및 FDSA에서 RTT의 영향력 완화 정도에 대한 실험, 목표 전송률에 비례한 전송률 보장에 대한 실험, TCP-UDP 사이의 공평성에 대한 실험을 수행하였다.

4.1 실험 환경

실험은 ns 시뮬레이터를 이용하여 이루어졌으며 실험을 위한 네트워크 구성은 그림 8과 같다. 코어 및 에지노드의 MRED 기법을 위한 RED 매개 변수는 표 1과 같다.

표 1 MRED의 RED 매개 변수 설정

	Green(IN)	Yello(OUT)	Red
Minth	40 pkts	25 pkts	10 pkts
Maxth	55 pkts	40 pkts	25 pkts
Maxp	0.02	0.05	0.1
wq	0.002	0.002	0.002

그림 8의 모든 링크 대역폭은 10Mbps이며 병목 구간은 코어노드와 에지노드 4 사이에 존재하게 된다. RTT 및 목표 전송률은 실험에 따라 조정된다. 각 집합 플로우에는 호스트 1-4, 호스트 2-5, 호스트 3-6 사이에 생성된다. 모든 실험에서 지능형 TC의 RATC 및 TATC는

DDPM 및 MRED를 이용하고, 제안된 FDSA는 TRA3CM과 TRBD 기법을 이용하여 실험하였다.

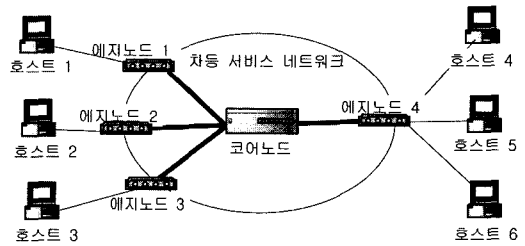


그림 8 시뮬레이션 네트워크 구성도

4.2절의 실험 결과에서 이용되는 공평성 지수(fair index)와 4.4절의 실험 결과에서 이용되는 일반화 공평성 지수(generalized fair index)는 다음과 같이 정의한다.

• 공평성 지수(fi)

공평성 지수는 식 (25)과 같이 표현된다[15]. n은 플로우의 수, x_i 는 플로우 i의 전송률을 나타낸다. 공평성 지수가 1이면 플로우들 사이의 전송률 분배가 가장 공평하고 0이면 가장 불공평하다.

$$\text{공평성 지수}(fi) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2)} \quad (25)$$

• 일반화 공평성 지수(gfi)

일반화 공평성 지수(gfi)는 플로우들 사이에 목표 전송률에 비례하도록 대역분배가 잘 이루어졌는지를 나타낸다. 일반화 공평성 지수는 식 (25)를 이용하여 식 (26)과 같이 표현될 수 있다. R_{ci} 는 플로우 i의 목표 전송률을 나타낸다. 일반화 공평성 지수는 공평성 지수와 동일하게 1에 근접할수록 공평한 대역 분배를 나타내며, 0에 근접할수록 불공평한 대역 분배를 나타낸다.

$$\text{일반화 공평성 지수}(gfi) = \frac{(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{R_{ci}})^2}{n \sum_{i=1}^n (\frac{x_i}{R_{ci}})^2} \quad (26)$$

4.2절에서는 목표 전송률을 고정시키고 RTT를 변화시키며 실험하였고, 4.3절에서는 RTT를 고정시키고 목표 전송률을 변화시키면 실험하였다. 마지막으로 4.4절에서는 3개의 집합 플로우에 각각 다른 목표 전송률을 할당하고 RTT를 변화시키며 실험하였다. 각 실험의 결과를 살펴보면, 제안한 TRA3CM과 TRBD를 이용하는 기법이 RTT, 목표 전송률, TCP-UDP 플로우의 공존 등과 관련된 대역 분배 문제를 해결하고 있음을 알 수 있다.

4.2 RTT에 따른 공평성 비교

본 절에서는 2색 마킹만을 제공하는 TSW2CM 및

지능형 TC와 3색 마킹을 제공하는 TSW3CM 및 TRA3CM 기법과 DDPM 및 TRBD 기법 사이에서 RTT의 영향을 비교하였다. TCP 플로우들 사이의 비교와 TCP-UDP 플로우 사이의 비교로 구분하여 실험하였다.

4.2.1 TCP-TCP 플로우 비교

TCP 플로우들 사이의 실험을 위한 각종 매개 변수 및 환경 설정은 표 2와 같다. TRA3CM에서 최고 목표 전송률을 무한대로 설정한 이유는 최고 목표 전송률의 영향을 제거하여 RATC와 비슷한 상황에서 실험하기 위한 것이다. 이것은 RATC에서처럼 서비스 제공자와 사용자 사이에 목표 전송률만을 이용하여 계약한 것과 동일하게 생각될 수 있다.

실험 동안에 마킹된 각 색별 패킷의 수를 살펴보면 표 3과 같다. RTT의 영향을 고려하지 않는 TSW2CM 및 TSW3CM의 경우에는 RTT의 차가 커질수록 두 집합 플로우의 전체 패킷 수의 차이가 커지게 된다. 이러한 차이는 대부분 보호되지 않는 OUT이나 Red 패킷에서 나타나게 된다.

그러나 RTT의 영향을 고려하고 있는 RATC 및 TRA3CM의 경우에는 두 집합 플로우의 RTT 차가 커지더라도 전송되는 전체 패킷의 수는 두 집합 플로우가 비슷하게 유지된다. RATC 및 TRA3CM에서는 RTT가 상대적으로 큰 집합 플로우의 IN 또는 Yellow 패킷의 수를 증가시켜 패킷 폐기 확률을 낮춤으로써 RTT가 다른 플로우 사이에 비슷한 전송률을 유지할 수 있다. 이러한 경향은 모든 실험에서 비슷하게 나타나게 된다.

그림 9는 실험 결과 그래프로써 RTT 변화에 대한 집합 플로우 1, 2간의 공평성 지수(fairness index) 변화를 나타낸다. 그림 9를 살펴보면 TSW 방식의 경우 RTT의 영향으로 두 집합 플로우 사이의 RTT 차이가 커질수록 공평성 지수가 상당히 낮아진다. RATC와 TRA3CM은 둘 다 우수한 성능을 보이지만, RTT 차이가 많이 나는 영역에서는 TRA3CM이 약간 더 좋은 성능을 나타낸다. 이것은 TRA3CM이 평균 전송률을 예측할 때 시간 창 길이를 RTT로 적용함으로써 각 집합 플로우의 현재 평균 전송률이 보다 정확히 예측될 수 있고, TRA3CM의 마킹 확률 계산 및 동작 알고리즘이 지능형 TC의 RATC보다 좀 더 정확하기 때문이다.

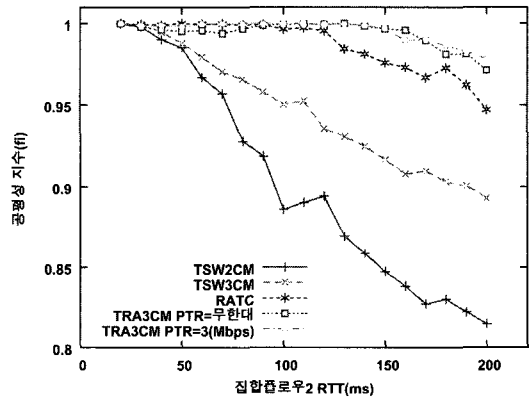


그림 9 TCP-TCP 플로우의 RTT에 따른 공평성지수 변화

표 2 TCP-TCP 플로우의 비교 실험을 위한 설정

TC	집합 플로우	RTT	목표 전송률	최고 목표전송률	플로우 수
TSW2CM/ 지능형 TC (RATC)	집합 플로우 1	20 ms	2 Mbps	×	6
	집합 플로우 2	20 ~ 200 ms	2 Mbps	×	6
TSW3CM/ TRA3CM	집합 플로우 1	20 ms	2 Mbps	3Mbps/ 무한대(TRA3CM)	6
	집합 플로우 2	20 ~ 200 ms	2 Mbps	3Mbps/ 무한대(TRA3CM)	6

표 3 각 색별 마킹된 패킷 수

	TSW2CM		RATC		TSW3CM			TRA3CM		
	IN	OUT	IN	OUT	Green	Yellow	Red	Green	Yellow	Red
20ms	19348	29606	21058	28947	19518	9641	19963	18787	10382	20520
20ms	19449	30716	20255	28870	19586	9681	19610	18759	10163	20175
20ms	19631	42933	19271	31019	19528	9632	27228	18598	8732	20051
80ms	19269	15736	39338	6519	19342	9587	9105	18960	24759	3704
20ms	19718	50197	19505	37582	19546	9862	33889	18950	9363	25485
160ms	19206	7772	37881	1739	19149	9388	3559	19100	22678	804
20ms	19465	52082	19537	40545	19465	9772	35173	18836	9327	27706
200ms	19267	5832	35086	981	19342	8872	2477	19251	20470	421

4.2.2 TCP-UDP 플로우 비교

TCP-UDP 플로우 사이의 공평성 비교 실험을 위한 설정은 표 4와 같으며, 실험 결과는 그림 10과 같다. 지능형 TC의 RATIC 및 TATC는 DDPM 및 MRED를 이용하고 있는데, 모든 집합플로우에 동일한 목표 전송률을 할당한 TCP-UDP 사이의 비교이기 때문에 RATIC와 TATC의 결과가 동일하다는 점을 알 수 있다. 제안된 FDSA의 경우에 TRA3CM과 TRBD를 이용하여 실험하였다. 그림 10의 실험 결과를 보면 TRA3CM-TRBD를 이용하는 경우에 모든 RTT 영역에서 TCP-UDP 사이에 공평한 대역분배를 제공한다는 것을 알 수 있다. 그러나 지능형 TC의 경우는 대부분의 RTT 영역에서 상대적으로 불공평한 현상을 보인다. 이것은 UDP의 모든 OUT 패킷을 Red로 마킹함으로써 UDP 플로우의 전송률이 TCP 플로우의 전송률보다 상당히 저하되기 때문이다.

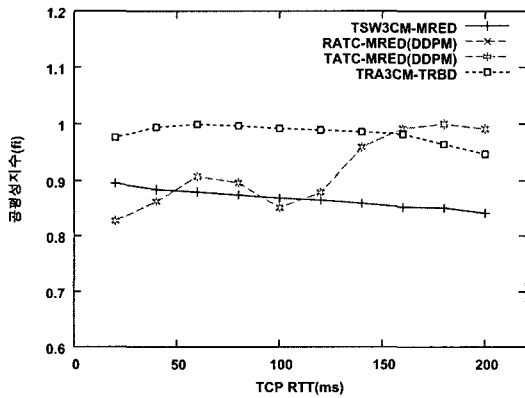


그림 10 TCP-UDP 플로우의 RTT에 따른 공평성지수 변화

4.3 동일한 RTT에서 목표 전송률에 따른 공평성 비교

이번 실험에서는 동일한 RTT에서 목표 전송률이 증가함에 따른 전송률 분배에 대하여 살펴본다. TCP-TCP 플로우와 TCP-UDP 플로우에 대하여 각각 실험을 수행하였다.

4.3.1 TCP-TCP 플로우 비교

TCP 플로우들 사이의 비교 실험을 위한 매개 변수 및 환경 설정은 표 5와 같다. 그림 11에서 보이는 실험 결과는 목표 전송률이 변화함에 따라 측정된 집합 플로우 1, 2 사이의 전송률 비율을 나타낸 것이다. CTR 및 PTR은 목표 전송률과 최고 목표 전송률을 나타낸다. 각 그래프가 Ideal 그래프에 근접할수록 목표 전송률에 보다 정확히 비례한 전송률 분배가 이루어진 것이다. 그림 11의 결과를 보면 지능형 TC의 TATC2D 및 TATC3D와 TRA3CM이 모두 Ideal 그래프에 아주 근접하다는 것을 알 수 있다. 지능형 TC와 TRA3CM 둘

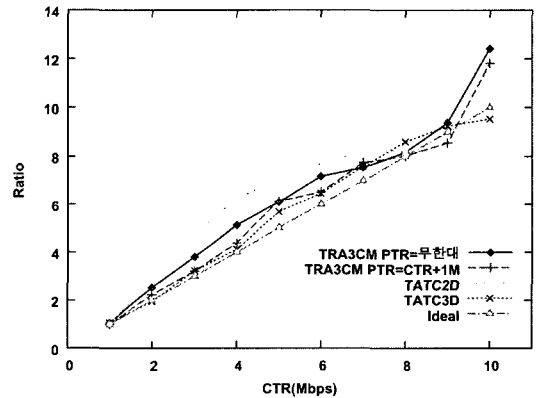


그림 11 목표 전송률 증가에 따른 TCP-TCP 전송률 비율

표 4 TCP-UDP 플로우의 비교 실험을 위한 설정

TC(패키지)	집합 플로우	RTT	목표 전송률	최고 목표 전송률	플로우 수
RATIC/TATC-DDPM (MRED)	UDP (9Mbps)	20 ms	2 Mbps	×	6 (각 1.5Mbps)
	TCP	20 ~ 200 ms	2 Mbps	×	6
TSW3CM(MRED)/ TRA3CM(TRBD)	UDP (9Mbps)	20 ms	2 Mbps	3Mbps	6 (각 1.5Mbps)
	TCP	20 ~ 200 ms	2 Mbps	3Mbps	6

표 5 목표 전송률 변화에 따른 공평성 비교 실험을 위한 환경 설정

TC	집합 플로우	RTT	목표 전송률	최고 목표 전송률	플로우 수
지능형 TC (TATC)	집합 플로우 1	20 ms	1 Mbps	×	6
	집합 플로우 2	20 ms	1~10 Mbps	×	6
TRA3CM	집합 플로우 1	20 ms	1 Mbps	2 Mbps / 무한대	6
	집합 플로우 2	20 ms	1~10 Mbps	CTR+1 Mbps / 무한대	6

다 목표 전송률에 상당히 비례하게 전송률이 분배된다고 할 수 있다.

4.3.2 TCP-UDP 플로우 비교

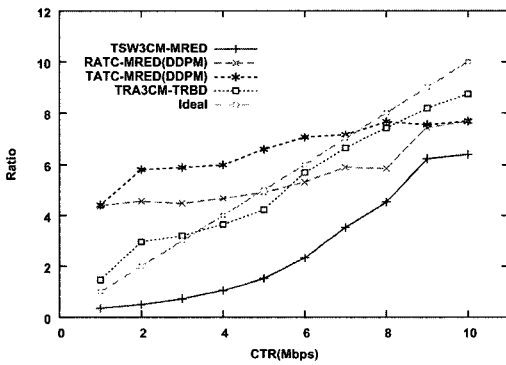
TCP-UDP 플로우의 전송률 비교는 TCP 플로우의 목표 전송률이 증가하는 경우와 UDP 플로우의 목표 전송률이 증가하는 경우로 나누어 실험하였다. RTT, 최고 목표 전송률, 플로우 수는 표 5와 같게 하였으며, UDP 집합 플로우의 송신 전송률은 9Mbps(1.5 × 6)로 설정하였다. 그림 12의 (1)은 TCP 플로우의 목표 전송률이 증가하는 경우이며, (2)는 UDP 플로우의 목표 전송률이 증가하는 경우이다. 실험 결과를 보면 RATC/TATC에서 DDPM을 이용하고 폐기기로 MRED를 이용하는 경우보다, TRA3CM과 TRBD를 이용하는 경우가 목표 전송률에 비례하는 대역분배에 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

4.4 다양한 목표 전송률이 존재할 때 RTT에 따른 공평성 비교

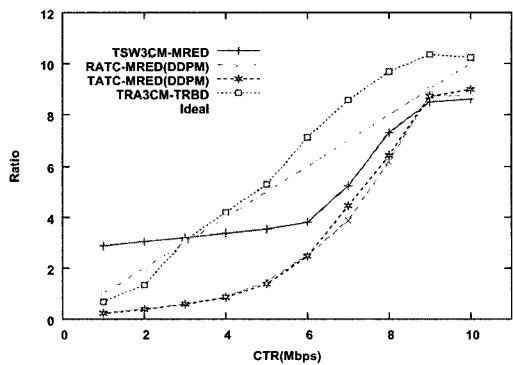
본 절에서는 다양한 RTT 및 목표 전송률을 갖는 3개의 집합 플로우들 사이에 공평성을 실험하였다. 실험을 위한 환경 설정은 표 6과 같으며 실험 결과는 그림 13과 같다. 그림 13에서는 TCP2의 RTT를 변화시키며 실험한 결과를 식 (26)의 일반화 공평성 지수(gfi)를 이용하여 표현하고 있다. 일반화 공평성 지수가 1에 근접

할수록 공평한 대역분배가 제공되고 있다는 것을 나타낸다.

실험 결과에서 TSW3CM의 경우를 보면, 그림 13-(1)의 결과가 그림 13-(2)의 결과보다 일반화 공평성 지수가 상당히 높다는 점을 알 수 있다. 이러한 이유는 그림 13-(1)의 실험에서는 UDP, TCP2의 목표 전송률이 각각 2Mbps, 1Mbps로 설정되어, UDP가 TCP2로부터 가져올 수 있는 전송률/목표 전송률의 양이 상대적으로 적기 때문이다. 그러나 그림 13-(2)의 결과에서는 UDP, TCP2의 목표 전송률이 각각 1Mbps, 2Mbps로 설정됨에 따라 TCP2로부터 가져올 수 있는 전송률/목표 전송률의 양이 상대적으로 많아져서 일반화 공평성 지수가 상당히 악화된다는 점을 알 수 있다. TATC의 경우에는 각 집합 플로우가 목표 전송률에 비례하는 전송률을 갖도록 마킹하므로, 그림 13-(1)과 그림 13-(2)에 큰 차이가 없다는 점을 알 수 있다. 그러나 TCP1과 TCP2 사이의 RTT 차이가 증가함에 따라 일반화 공평성 지수가 점점 악화된다는 점을 알 수 있다. RATC는 RTT 차이에 따른 일반화 공평성 지수 변화는 상대적으로 작지만, 목표 전송률에 대한 고려가 없기 때문에 각 집합 플로우의 목표 전송률 변화에 따라 그림 13-(1)의 실험 결과나 그림 13-(2)의 결과처럼 일반화 공평성 지수가 변화하게 된다. 그러나 그림 13에서 FDSA의 TRA3CM-



(1) TCP(x Mbps) / UDP(1 Mbps)

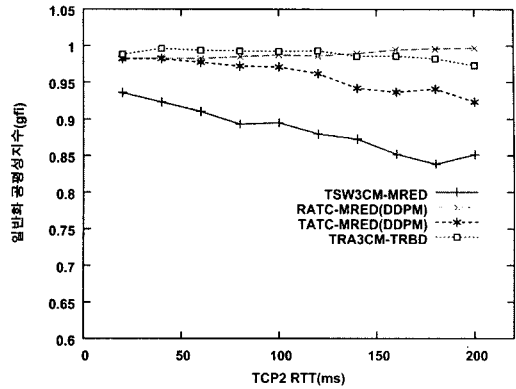
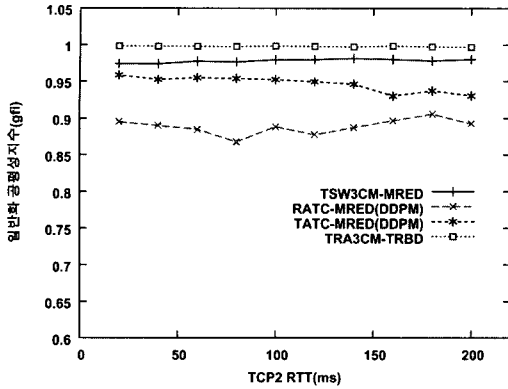


(2) UDP(x Mbps) / TCP(1 Mbps)

그림 12 목표 전송률 증가에 따른 TCP-UDP 전송률 비율

표 6 다양한 RTT 및 목표 전송률을 이용한 공평성 비교 실험을 위한 환경 설정

TC(폐기)	집합 플로우	RTT (ms)	목표 전송률 (Mbps)	최고 목표전송률 (Mbps)	플로우 수
RATC/TATC-DDPM (MRED)	UDP (9Mbps)	20	2 (1)	×	6 (각 1.5Mbps)
	TCP1	20	4 (4)	×	6
	TCP2	20 200	1 (2)	×	6
TSW3CM(MRED)/ TRA3CM(TRBD)	UDP (9Mbps)	20	2 (1)	CTR + 1	6 (각 1.5Mbps)
	TCP1	20	4 (4)	CTR + 1	6
	TCP2	20 200	1 (2)	CTR + 1	6



(1) UDP(2Mbps), TCP1(4Mbps), TCP1(1Mbps)

(2) UDP(1Mbps), TCP1(4Mbps), TCP2(2Mbps)

그림 13 RTT에 따른 일반화 공평성 지수

TRBD 기법을 이용하는 경우를 살펴보면, RTT나 각 집합 플로우의 목표 전송률 변화와 무관하게 이상적인 대역분배에 상당히 근접하고 있음을 알 수 있다. 이러한 실험 결과를 통해, RTT 차이가 있는 TCP 플로우들과 UDP 플로우들이 동시에 존재하는 상황에서도, TRA3CM-TRBD 기법을 이용하여 각 집합 플로우들에게 목표 전송률에 비례하는 대역 분배를 제공할 수 있다는 점을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

현재 인터넷에서 QoS에 대한 주요 연구 중의 하나로 차등 서비스에 대한 연구가 이루어지고 있다. 차등 서비스의 AF 서비스는 토큰 버킷 기반의 방식과 평균 전송률 예측 기반 방식이 존재하며, 후자의 경우에 대표적인 기법은 TSW 방식이다. 이러한 기본적인 차등 서비스 구조에는 RTT의 영향으로 인한 집합 플로우 사이의 불공평한 현상을 완화시킬 수 있는 기법이 없고, 목표 전송률에 비례한 전송률 분배를 위한 기법 또한 존재하지 않는다. TCP-UDP 플로우들 사이의 공평한 대역분배에 대해서도 고려하고 있지 않다. 지능형 TC는 이러한 문제점들에 대해 해결 방법을 제시하고 있으나, 2색 마킹 기법만 제공하여 이용될 수 있는 응용 영역에 제한이 있고, RTT와 목표 전송률을 동시에 고려하는 기법이 없으며, DDPM을 이용하는 TCP-UDP 공평성 제공 방법은 TCP의 RTT에 따라 성능의 차이가 심하다.

본 논문에서는 공평한 대역분배 기능을 제공할 수 있는 FDSA와 FDSA의 예지노드와 코어노드에서 이용될 수 있는 TRA3CM과 TRBD 기법을 제안하였다. TRA3CM 기법은 3색 마킹을 제공하고 RTT와 목표 전송률을 동시에 고려하여 전송률을 조정할 수 있다. TRA3CM은 RTT의 영향을 완화시켜 RTT가 다른 집

합 플로우 사이에도 비슷한 전송률을 보이도록 하며, 보다 많은 비용을 지불하여 높은 목표 전송률로 계약한 사용자가 목표 전송률에 비례한 전송률을 갖도록 하여 비용에 따른 공평성을 제공하고 있다. TRBD 기법은 목표 전송률에 비례하는 대역분배가 이루어지도록 코어노드에서 UDP의 패킷 폐기 확률을 조정하여, 목표 전송률이 다른 TCP-UDP 플로우들 사이에 공평성을 제공한다. 본 논문에서는 ns 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해서 TSW, 지능형 TC와 TRA3CM-TRBD 사이의 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과 제안한 TRA3CM-TRBD 기법은 TSW 및 지능형 TC에 비해서 다양한 환경에서 공평성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 제안한 FDSA 구조에서 공평성을 제공하기 위해 이용하는 파라미터를 줄이는 방법에 대한 연구가 수행되어야 하고, 초고속 네트워크의 특성을 고려한 효율적인 대역분배 방식에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] S. Blake, D. Blake, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," *IETF RFC 2475*, Dec. 1998.
 [2] V. Jacobson, K. Nichols, and K. Poduri, "An Expedited Forwarding PHB," *IETF RFC 2598*, June 1999.
 [3] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group," *IETF RFC 2597*, June 1999.
 [4] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection gateways for Congestion Avoidance," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 1, No. 4, pp. 397-413, Aug. 1993.

- [5] 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, Aug. 1998.
- [6] J. Heinanen and R. Guerin, "A Single Rate Three Color Marker," *IETF RFC 2697*, Sep. 1999.
- [7] J. Heinanen, and R. Guerin, "A Two Rate Three Color Marker," *IETF RFC 2698*, Sep. 1999.
- [8] W. Fang, N. Seddigh, and B. Nandy, "A Time Sliding Window Three Colour Marker (TSW-TCM)," *IETF RFC 2859*, June 2000.
- [9] B. Nandy, N. Seddigh, P. Piedad, and J. Ethridge, "Intelligent Traffic Conditioners for Assured Forwarding based Differentiated Services networks," *IFIP High Performance Networking*, June 2000.
- [10] I.B.H. Alves, J.F. Rezende, and L.F.M. Moraes, "Evaluating Fairness in the Aggregated Traffic Marking," *Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference*, Nov. 2000.
- [11] I. Andrikopoulos, L. Wood, and G. Pavlou, "A Fair Traffic Conditioner for the Assured Service in a Differentiated Services Internet," *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, June 2000.
- [12] A. Habib, B. Bhargava, and S. Fahmy, "A Round Trip Time and Time-out Aware Traffic Conditioner for Differentiated Services," *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, April 2002.
- [13] H. Su, M. Atiquzzaman, "ItswTCM: a new aggregate marker to improve fairness in DiffServ," *Computer Communications*, Vol. 26, No. 9, pp. 1018-1027, 2003.
- [14] M. Mathis, J. Semke, J. Mahdavi, and T. Ott, "The macroscopic behavior of the TCP congestion avoidance algorithm," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 27, No. 3, pp. 67-82, 1997.
- [15] R. Jain, "The art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling," pp.387, John Wiley and Sons Inc., New York, 1991.

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신
제 31 권 제 1 호 참조

모 상 탁

1998년 광운대학교 전자통신공학과 학사
 2000년 광운대학교 전자통신공학과 석사
 2000년~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사 과정