

DiffServ 방식의 Assured Service 에서 플로별 관리 없이 Fairness 향상을 위한 Aggregate Fairness Marker

정회원 박지훈*, 허경*, 엄두섭*

An Aggregate Fairness Marker without Per Flow Management for Fairness Improvement of Assured Service in DiffServ

Ji Hoon Park*, Kyeong Hur*, Doo Seop Eom* *Regular Members*

요 약

본 논문은 DiffServ 방식에서 Assured Service를 이용하는 각 사용자 플로간에 수율의 공평성을 향상시키기 위하여 도메인 입구 라우터에서 Aggregate Fairness Marker (AFM)를 제안한다. 각 사용자별 플로의 패킷 표기 방법은 본 논문에서 제안하는 방법인 user flow Three Color Marker (uf-TCM)에 따라서 각각 *green* 패킷과 *yellow* 패킷, 그리고 *red* 패킷으로 구분되어 나온다. *yellow* 패킷은 uf-TCM에서 손실된 토큰을 소비하는 패킷 및 AFM에서 집합 트래픽에 대한 계약률을 준수하지 못하여 *demotion* 된 *green* 패킷에 대한 표기 방법이다. 제안하는 AFM은 플로별 관리 없이 공평한 방법으로 *yellow* 패킷을 *green* 패킷으로 *promotion* 하거나 *green* 패킷을 *yellow* 패킷으로 *demotion* 하여 사용자별 수율의 공평성 및 링크 이용률을 향상시킨다. DiffServ 내부 라우터에서는 *yellow* 패킷과 *red* 패킷의 패킷 폐기 우선순위를 동일하게 하여 RIO 버퍼 관리 방식을 사용할 수 있게 한다. 성능 평가는 제안하는 AFM과 플로별 관리 없이 수율 공평성 향상을 위해 제안되었던 REDP Marker를 비교하였으며, 시뮬레이션 결과는 본 논문에서 제안하는 방식이 잉여 대역폭이 있는 경우와 최소 대역폭이 있는 경우, 그리고 대역폭이 부족한 상황에서 각 사용자 플로간의 수율 공평성 및 링크 이용률 향상에 효과가 있음을 단일 도메인뿐만 아니라 다중 도메인 환경에서도 보인다.

Keyword : Assured Services, demotion, Fairness, promotion, yellow

ABSTRACT

In this paper, we propose an Aggregate Fairness Maker (AFM) required for an Edge router to improve fairness of throughput among the flows of Assured Service in DiffServ with different round trip time (RTT) and we propose a user flow Three Color Marker (uf-TCM) as a flow marker that marks packets from the flow as *green*, *yellow*, or *red*. A *yellow* packet is the packet that consumes loss token in uf-TCM as well as that is demoted *green* packet in AFM due to disobey the aggregate traffic profile. The proposed AFM promotes *yellow* packet to *green* packet or demotes *green* packet to *yellow* packet through the fair method without per-flow management, and it improves the fairness of throughput among the flows as well as link utilization. A *yellow* packet and a *red* packet have the same drop precedence at Core Router in our scheme. So we can use the RIO buffer management scheme. We evaluated the performance of our proposed AFM and the REDP Marker that was proposed to improve fairness without per-flow management. Simulation results show that, compared with the REDP marker, proposed AFM can improve performance of throughput fairness among the flows with different RTT and link utilization under the over-provisioning, exact-provisioning, and under-provisioning network environments at Multiple DiffServ domains as well as at Single DiffServ domain.

* 고려대학교 전자공학과 (jhpak@final.korea.ac.kr)

논문번호 : 030522-1125, 접수일자: 2003년 11월 21일)

※ 본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었습니다.

I. 서론

현재의 Internet Protocol (IP)를 사용하는 인터넷은 "Best Effort" 서비스만을 제공할 수 있다. "Best Effort" 서비스는 네트워크 자원의 배타적 사용을 위한 자원예약 없이 사용자들이 자원을 공유하는 방식이어서 사용자에게 Quality of Service (QoS)를 보장할 수 없다. 이와 같은 "Best Effort" 서비스는 File Transfer Protocol (FTP)이나 e-mail과 같은 비실시간성 데이터 전달을 요하는 응용들에 적합하다. 한편, 멀티미디어나 실시간 응용들이 증가함에 따라 이들 응용들이 요구하는 QoS 보장을 [1] 위한 새로운 서비스의 필요성이 대두되었지만, 현재의 인터넷 구조는 이러한 응용들이 요구하는 QoS를 보장하지 못한다.

Internet Engineering Task Force (IETF)는 사용자들이 요구하는 QoS를 보장하기 위한 차세대 네트워크 구조로써 Integrated Service (IntServ)와 Differentiated Service (DiffServ)를 제시 하였다 [2-3]. IntServ는 사용자 개별 플로에 대한 end-to-end QoS를 보장하지만 플로가 경유하는 모든 라우터들이 각 플로우에 대한 상태정보를 유지해야 하고, 접속제어 (Admission Control)에 대한 방법으로 Resource ReSerVation Protocol (RSVP) [4]을 사용하기 때문에 확장성 (Scalability) 문제가 있다. 또한 IntServ는 기존 인터넷의 하부구조를 수정해야 하는 단점도 있다 [5]. DiffServ 방식은 각 사용자 플로별 관리가 아닌 집합단위의 클래스별 관리를 사용하고, DiffServ Code Point (DSCP)를 이용하여 IP 패킷에 대한 Per Hop Behavior (PHB)를 규정한다. 같은 DSCP 코드를 가진 모든 패킷들은 동일한 방식으로 처리된다. 이러한 방법은 다수의 사용자 플로들을 소수의 클래스로 분류하여 처리하는 집합 (Aggregate) 방식의 메커니즘이며 대규모의 플로들을 전달하는 내부 네트워크 (Core Network)에 적합한 확장성을 갖고 있다. 사용자에게 일정한 수준의 QoS를 보장하기 위해서는 접속제어가 필요하며 DiffServ 방식에서는 사용자 플로단위의 정보관리를 실시하지 않고 집합 트래픽 단위의 정보 관리를 통한 접속제어 방안이 연구 중이다 [6]. DiffServ 방식에는 Premium Service (PS)에 해당하는 Expedite Service (EF) PHB와 Assured Service (AS)에 해당하는 Assured Forwarding (AF) PHB 그리고 Best effort Service (BS)가 있다

[7-8]. 그림 1은 AF에 대한 전형적인 DiffServ 네트워크 구조를 보여주고 있다. 사용자 플로들은 DiffServ 도메인 입구 라우터에서 Internet Service Provider (ISP)와의 계약된 Traffic Profile 준수 여부에 따라 *In-Profile (green)*과 *Out-of-Profile (red)* 패킷으로 표기되어 네트워크 혼잡 시 *red* 패킷을 우선적으로 폐기 하여 *green* 패킷을 보호한다 [9].

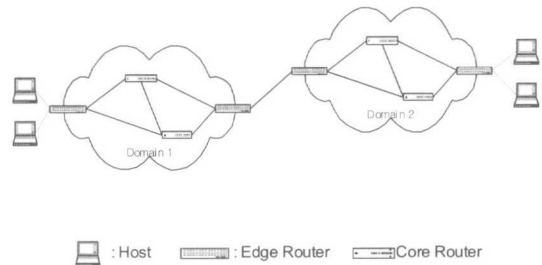


그림 1. DiffServ 네트워크 구조.
Fig. 1. DiffServ architecture.

DiffServ 방식에서 AS를 사용하는 TCP 플로에게 Minimum Rate의 QoS를 보장하기 위한 기존의 방법들은 DiffServ 도메인 입구 라우터에서 사용자 개별 플로별 기반의 Dropper, Marker, Meter에 대한 알고리즘을 다루고 있거나 플로별 정보 관리를 이용한 집합 트래픽 (Aggregate Traffic)을 제어하는 Marker에 대한 알고리즘을 제안하였다 [10-14]. 이러한 방법들은 DiffServ 도메인 입구 라우터에서 사용자 개별 플로에 대한 상태 정보 및 관리를 필요로 한다. 한편 현재의 인터넷 구조는 여러 개의 단일 도메인이 서로 연결되어 있는 구조로 되어있다 [15]. 그림 1에서 사용자 플로가 여러 도메인을 경유할 경우 패킷에 표기된 DSCP는 도메인의 입구 라우터에서 도메인간 계약 준수 여부에 따라서 다시 표기된다. 따라서 사용자 플로들이 여러 도메인을 경유할 경우 집합 단위의 사용자 플로가 도메인간의 Service Level Agreement (SLA)를 준수해야만 개별 플로의 end-to-end QoS를 보장할 수 있다. 하지만 여러 도메인을 경유하는 사용자 플로가 새로 추가 될 때마다 도메인간 SLA를 변경하는 것은 어렵다 [16]. 이러한 이유로 기존에 제안되었던 개별 플로에 대한 상태 정보 및 관리를 기반으로 하는 해결책은 다중 도메인을 경유 하는 플로에 대한 Minimum Rate의 QoS 보장이라는 관점에서 보았을 때 확장성의 문제를 해결할지에 대해서는 의문이다. 다중 도메인 환경에서의 문제점과 관련하여 REDP [17]에서는 사용자 플로의 *demotion*,

promotion 방안을 제안하였고 이러한 *demotion* 및 *promotion*을 사용자 플로의 구분 없이 집합적인 방법으로 처리하여 사용자 플로간 수율의 공평성을 향상시키는 Intermediate Marker를 제안하였다. REDP의 방법은 토큰 버킷을 *promotion*, *balanced*, *demotion* 영역으로 구분하였고, *yellow* 패킷의 쓰임새를 제안하였다. REDP에서는 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰 수가 *demotion* 영역에 있으면 사용자 계약률 합이 도메인간 계약률 보다 크다고 판단하여 *green* 패킷을 확률적인 방법으로 *yellow* 패킷으로 Early *demotion* 한다. Early *demotion*을 하는 이유는 버킷 내의 토큰이 없는 경우 도메인 입구로 유입되는 *green* 패킷이 토큰을 소비하지 못하여 강제적으로 *red* 패킷으로 *demotion* 됨으로써 발생하는 phase effect [18]를 통한 사용자 플로간 수율의 불공평성을 방지하기 위해서다. 만약 남아있는 토큰 수가 *promotion* 영역에 있으면 사용자 계약률 합이 도메인간 계약률 보다 적다고 판단하여 *demotion*된 *yellow* 패킷을 확률적인 방법으로 *green* 패킷으로 *promotion* 하여 Early *demotion*을 겪은 사용자 플로의 수율을 향상시킨다. 남아있는 토큰 수가 *balanced* 영역에 있으면 사용자 계약률 합과 도메인간 계약률이 비교적 일치한다고 판단하여 패킷에 대한 *demotion* 및 *promotion*을 하지 않는다. 결국 REDP 방식에서 *yellow* 패킷은 *demotion*된 *green* 패킷을 *red* 패킷과 구분하여 잉여 대역폭이 존재할 경우 원래의 *green* 패킷으로 *promotion*하기 위한 방법이며, REDP는 도메인 입구 및 도메인간 입구 라우터에서 사용자 플로별 관리 없이 집합적인 트래픽에 대한 확률적인 Early *demotion*과 *promotion*을 통하여 사용자 플로간에 수율의 공평성을 향상시키는 방법이다.

REDP 방식은 UDP 플로간의 공평성을 해결하였지만, TCP 플로간의 공평성을 향상 시키지는 못하였다. REDP에서는 *demotion* 및 *promotion* 확률 값을 토큰 버킷 내의 남아 있는 토큰 수에 따라서 간단한 방법으로 결정하기 때문에 집합플로 내의 모든 사용자 플로우에 동일한 *demotion* 및 *promotion* 확률 값이 적용된다. TCP의 전송률은 Round Trip Time (RTT)에 매우 의존적이다. TCP는 혼잡제어를 위하여 매 RTT 마다 congestion window의 크기를 늘려 버스트 (Burst) 트래픽을 전송하고 혼잡을 감지하면 congestion window의 크기를 줄인다. 결국 RTT가 상대적으로 큰 TCP 플로 보다 RTT가 상대적으로 작은 TCP 플로에서 더 많은 양의

green 트래픽과 *yellow* 트래픽이 생기기 때문에 TCP 사용자 플로간에 불공평성이 발생할 수 있으며 링크 이용률도 나빠지게 된다. 따라서 개별 플로의 RTT나 전송률과 같은 정보 없이 집합적인 플로의 관리 방법을 사용하여 TCP 사용자 플로간에 공평성을 향상 시키는 방법은 매우 어렵다. 이러한 이유 때문에 REDP의 간단한 집합적인 플로 관리 방법은 TCP 사용자 플로간의 공평성을 해결하지는 못한다.

본 논문에서는 REDP와 같은 Intermediate Marker의 TCP 플로간 공평성 문제를 해결하기 위하여 REDP의 *demotion*과 *promotion* 개념을 적용한 Aggregate Fairness Marker (AFM)를 제안하고 사용자 호스트 별로 사용자의 계약 준수 여부를 판별하는 user flow Three Color Marker (uf-TCM)를 제안한다. 제안하는 uf-TCM은 토큰 버킷 기반의 간단한 구조로 되어있고 사용자 플로우에 대한 패킷 표기 방법으로 three color를 사용한다. 제안하는 AFM은 집합단위의 플로 관리를 통하여 TCP 개별 사용자 플로간의 공평성을 향상 시키는 방법이다. 개별 플로 관리가 아닌 집합 플로 관리를 통하여 TCP 공평성을 향상 시키는 방법은 상당히 어려운 문제이지만 제안하는 AFM은 다음과 같은 사실에 착안한다. TCP 플로간의 상대적인 전송률은 일정하지 않다. 따라서 RTT가 상대적으로 큰 사용자 플로가 RTT가 상대적으로 작은 TCP 사용자 플로보다 더 많은 양의 패킷을 전송하고 있는 시점에서 *demotion* 확률을 낮추고 *promotion* 확률을 높이며, RTT가 상대적으로 작은 사용자 플로가 RTT가 상대적으로 큰 사용자 플로우에 비하여 더 많은 양의 패킷을 전송한다면 *demotion* 확률을 높이고 *promotion* 확률을 낮춤으로써 TCP 사용자 플로간의 공평성을 향상 시킬 수 있고 링크 이용률도 높일 수 있다. 이러한 방법을 이용하기 위하여 본 논문에서는 입구 라우터에 유입되는 집합단위 플로우의 *green* 트래픽률과 *yellow* 트래픽률 그리고 *red* 트래픽률 및 전체 트래픽률을 측정하여 TCP 사용자 플로우의 개별 상태를 추측한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 제안하는 방식의 구조에 대하여 설명하고 사용자 플로별로 *green*, *yellow*, *red* 패킷이 생성되는 방법을 제안한다. 또한 DiffServ 입구 라우터에 유입되는 사용자 트래픽률의 특성에 따라 *demotion* 및 *promotion*을 수행하는 AFM의 알고리즘에 대해서 설명한다. 제 3 절의 시뮬레이션 모델 및 결과는 단

일 및 다중 DiffServ 도메인 환경에서 제안하는 방법이 AS 클래스를 사용하는 TCP 사용자 플로간의 공평성을 향상시킬 수 있음을 보인다. 끝으로 제 4 절에서 결론을 맺는다.

II. AS클래스의 Fairness 향상을 위한 Aggregate Fairness Marker

2.1 제안하는 방식의 구조

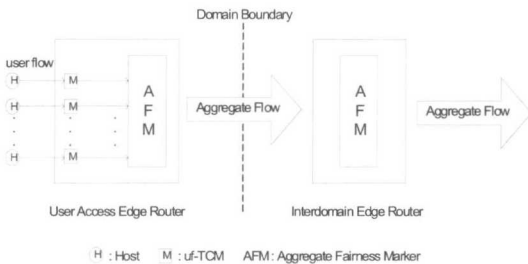


그림 2. 제안하는 방식의 구조.
Fig. 2. Structure of the proposed scheme at Edge Router.

본 논문에서 제안하는 방식의 구조는 그림 2와 같이 user flow Three Color Marker (uf-TCM)와 Aggregate Fairness Marker (AFM)로 구성된다. 사용자 플로별로 계약 준수 여부를 판단하기 위해서는 기본적으로 사용자 플로별 Marker가 필요하다. 또한 새로운 사용자 플로가 추가될 때마다 새로 추가된 사용자 플로에게 플로별 Marker를 할당해야 하므로 사용자 플로별 Marker의 구조는 비교적 간단해야 한다. 본 논문에서 제안하는 사용자 플로별 Marker인 uf-TCM은 각 사용자 별로 ISP와의 계약 준수 여부를 판단하고 사용자 트래픽은 green, yellow, red 패킷으로 표기된다. 제안하는 AFM은 도메인 입구 및 도메인간 입구 라우터에 유입되는 집합 트래픽에 대한 계약 준수 여부를 판단하고 유입되는 집합 트래픽물의 특성에 따라서 플로별 관리 없이 공평한 방법으로 demotion과 promotion을 수행한다. 또한 계약된 집합 트래픽에 대해서는 접속제어가 수행되어 계약률에 해당하는 양의 자원 예약이 된 상황을 가정한다. 따라서 집합 트래픽의 계약률에 대해서는 최소 대역폭이 할당된다. uf-TCM과 AFM은 그림 2와 같이 각각 별개로 동작하고 간단한 구조로 구성되어 있어서 확장성의 문제를 해결한다. 또한 yellow 패킷과 red 패킷은 동일한

패킷 폐기 우선순위를 갖기 때문에 DiffServ 내부 라우터에서는 RIO 버퍼 관리 방식 [9]을 사용한다.

2.2 user flow Three Color Marker

DiffServ 도메인 입구 라우터에서는 ISP와의 계약을 준수한 사용자 트래픽을 green 패킷으로 표기하고 계약을 어긴 트래픽을 red 패킷으로 표기한다. 이러한 계약 준수 여부를 판단하기 위한 간단한 방법으로 각 사용자 플로별로 토큰 버킷 (Token Bucket) Marker를 사용한다. 토큰 버킷 방법은 사용자 플로 i 가 ISP와 평균 전송률 $r_i(bps)$ 를 계약 하였을 경우 $r_i(bps)$ 의 속도로 토큰이 발생하여 발생한 토큰이 토큰 버킷에 쌓이게 된다. 사용자 플로 i 의 트래픽 양 $T_i(bits)$ 은 사용자별 토큰 버킷 내의 토큰 양보다 작거나 같으면 green 패킷으로 처리되고 그렇지 않으면 계약을 어긴 것으로 간주하여 red 패킷으로 처리된다. 이러한 방식을 사용함으로써 DiffServ 내부 라우터에서 네트워크에 혼잡이 생겼을 시에 red 패킷을 먼저 폐기하여 계약을 준수한 green 패킷을 보호한다.

현재 인터넷에서 사용하는 대표적인 전송계층 프로토콜은 User Datagram Protocol (UDP)와 Transmission Control Protocol (TCP)이다. UDP를 사용하는 대부분의 응용의 트래픽 특성은 평균 트래픽 발생률과 순간 트래픽 발생률이 거의 같다. 즉 트래픽이 일정한 속도로 나오기 때문에 사용자 플로의 트래픽 발생률이 최소한 ISP와의 계약률 보다 크기만 하면 토큰 버킷 Marker의 토큰 손실 없이 사용자에게 Minimum Rate의 QoS를 보장할 수 있다. 그러나 TCP의 경우는 하나의 RTT 후에 버스

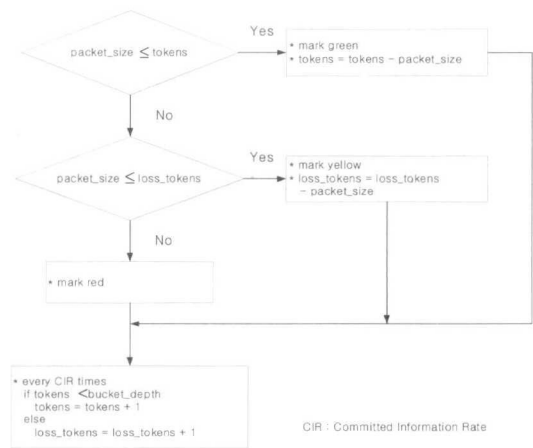


그림 3. user flow Three Color Marker 알고리즘.
Fig. 3. The proposed uf-TCM algorithm.

트 트래픽이 생성되는 특징을 보이기 때문에 사용자 플로에서 발생하는 트래픽률의 평균 값과 순간 값이 같지 않다. 따라서 트래픽이 발생하지 않는 순간에는 발생된 토큰을 소비하지 못하고 결국 토큰이 손실되는 문제가 발생하여 사용자에게 Minimum Rate의 QoS를 보장할 수 없다 [19].

제안하는 방식에서는 AS 클래스를 사용하는 TCP 사용자 플로우가 손실된 토큰을 재사용 할 수 있도록 하기 위한 목적으로 yellow 패킷을 사용한다. 그림 3은 user flow Three Color Marker의 알고리즘을 나타낸 것이다. 그림 3에서 사용자 트래픽은 버킷 내의 토큰을 소비하면 green 패킷으로 표기된다. 사용자 트래픽이 토큰을 소비하지 못하면 손실된 토큰을 소비하여 yellow 패킷으로 표기된다. 손실된 토큰을 소비하지 못한 사용자 트래픽에 대해서는 red 패킷으로 표기한다. 한편 사용자 트래픽이 발생하지 않아 토큰이 손실되면 손실된 토큰 수는 증가하여 버킷 내의 토큰을 소비하지 못한 트래픽을 yellow 패킷으로 표기하는데 사용된다. uf-TCM의 버킷 크기를 한 개의 packet 크기로 설정하면 green 패킷으로 표기된 사용자 플로우의 트래픽은 순간 트래픽 발생률이 계약 조건을 준수한 경우에 해당한다. 토큰을 소비하지 못하였으나 손실된 토큰을 소비하고 yellow 패킷으로 표기된 사용자 플로는 사용자 플로우의 평균 트래픽 발생률이 계약 조건을 준수한 경우에 대한 표기 방법이 된다. 예를 들어 초당 r 개의 packet에 해당하는 토큰이 발생한다고 하면, 손실된 토큰이 n 개의 packet양에 해당하고 사용자 플로우의 트래픽 양이 n 개의 packet 크기에 해당하여 손실된 토큰을 소비할 경우 사용자 플로우의 평균 트래픽 발생률은 $n[\text{packets}]/\text{크기}$ 의 트래픽을 $n[\text{packets}]/\text{sec}$ 에 해당한다. 따라서 손실된 토큰을 소비한 트래픽은 평균 트래픽 발생률이 계약 조건을 준수한 경우에 해당한다. 사용자 플로우의 트래픽이 손실된 토큰을 소비하지 못하여 red 패킷으로 표기 되었다면 red 패킷은 사용자 플로우의 평균 트래픽 발생률이 계약 조건을 위반한 경우에 해당한다. 제안하는 방식에서는 DiffServ 내부 라우터에서 RIO 버퍼 관리를 통하여 yellow 패킷과 red 패킷을 동일하게 처리하므로 yellow 패킷으로 표기된 사용자 트래픽은 red 트래픽으로 표기된 사용자 트래픽과 마찬가지로 ISP와의 계약 조건을 준수하지 못한 트래픽으로 처리된다. 하지만 DiffServ 도메인 입구 라우터에서 제안하는 AFM은 사용자 개별 플로우가

어떤 집합 트래픽에 대한 계약 조건의 준수 여부를 판단하므로 입구 라우터에 유입되는 yellow 패킷이 토큰 버킷 내의 토큰을 소비한다면 계약을 준수한 것으로 판단하고 green 패킷으로 promotion 된다. yellow 패킷을 green 패킷으로 promotion 하는 방식은 AS 클래스를 사용하는 TCP 사용자 플로우에게 좀더 나은 수율을 제공하는 방법이 된다.

2.3 Aggregate Fairness Marker

본 논문에서 제안하는 Aggregate Fairness Marker (AFM)은 DiffServ 도메인 입구 라우터와 도메인간 입구 라우터에 위치하여 AS를 사용하는 TCP 플로우간의 공평성을 향상시키며 사용자 플로별 관리 없이 집합적인 방법으로 플로우를 처리하여 확장성의 문제를 해결하기 위한 Intermediate Marker이다. AFM은 입구 라우터에 유입되는 집합 트래픽의 계약 준수 여부를 판단하고, 집합 트래픽률의 특성에 따라서 사용자 플로우간에 공평한 방법으로 demotion 및 promotion을 수행한다. AFM은 유입되는 트래픽에 대한 demotion을 결정하면 green 패킷을 yellow 패킷으로 demotion 하여 phase effect를 방지한다. 만약 입구 라우터에 유입되는 트래픽에 대한 promotion을 결정하면 yellow 패킷을 green 패킷으로 promotion 하여 각 개별 플로우의 수율 향상 및 링크 이용률을 높인다.

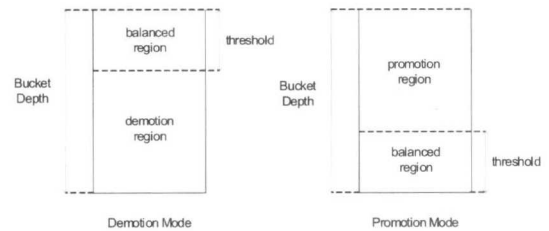


그림 4. AFM의 세가지 동작영역.
Fig. 4. Three operation regions of AFM.

그림 4는 AFM의 토큰 버킷 내의 남아 있는 토큰 수에 따른 세 가지 동작 영역을 나타낸 것이다. 입구 라우터에 유입되는 green 트래픽률 $green_rate$ 가 집합 트래픽에 대한 계약률 $contract_rate$ 보다 크면 AFM은 Demotion Mode로 진입하고 토큰 버킷 내에 남아있는 토큰 수에 따라서 balanced 영역과 demotion 영역을 결정한 후 각각의 상태에 따라서 입구 라우터에 유입되는 패킷을 처리한다. 만약 유입되는 green 트래픽률이 집합 트래픽에 대한 계약률 보다 작으면 Promotion Mode로 진입하고

Demotion Mode의 경우와 마찬가지로 토큰 버킷 내에 남아있는 토큰 수에 따라서 *balanced* 영역과 *promotion* 영역을 결정한 후 각각의 상태에 따라서 입구 라우터에 유입되는 패킷을 처리한다. *balanced* 영역은 불필요한 *promotion*과 *demotion* 과정을 방지하기 위한 것이다 [17]. Demotion Mode에서는 토큰 버킷 내의 토큰 수가 *balanced* 영역에 있다면 플로의 수율이 저하됨을 방지하기 위해 *demotion*을 수행하지 않는다. Promotion Mode에서는 토큰 버킷 내의 토큰 수가 *balanced* 영역에 있다면 버스트 *green* 패킷이 토큰을 소비하지 못하는 상황을 방지하기 위해 *promotion*을 수행하지 않는다.

단일 도메인 환경에서 각 TCP 사용자 플로의 트래픽은 본 논문에서 제안한 uf-TCM 알고리즘에 따라 *green* 패킷과 *yellow* 패킷, 그리고 *red* 패킷으로 표기되고 TCP 혼잡제어 알고리즘에 따라 입구 라우터에 유입되는 전체 트래픽 양이 병목구간에 맞춰진다. 따라서 사용자 전체의 계약률 합이 집합 트래픽에 대한 계약률 *contract_rate*보다 큰 경우라도 *contract_rate*보다 큰 *green* 트래픽률이 발생하지 못하기 때문에 단일 도메인 환경에서는 *demotion* 상황은 거의 발생하지 않고 *promotion* 상황이 발생할 확률이 높다. *promotion* 상황에서 사용자 계약률 합이 집합 트래픽에 대한 계약률보다 작을수록 사용자별 플로의 트래픽 특성은 대부분의 사용자 플로가 계약률 보다 큰 트래픽을 발생시켜 uf-TCM에서 손실된 토큰을 전부 소비하는 *yellow* 트래픽을 발생시키고 손실된 토큰을 소비하지 못한 *red* 트래픽의 양이 많게 된다. 따라서 AFM은 도메인 입구 라우터에 유입되는 트래픽에서 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율이 일정량 이상이면 잉여 대역폭이 존재하는 상황이 우세하다고 판단한다.

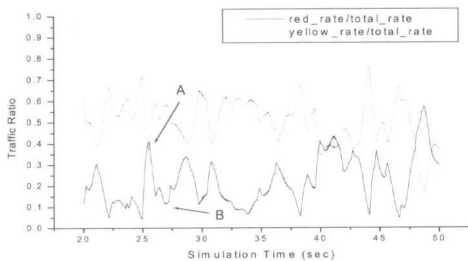


그림 5. 잉여 대역폭이 존재하는 상황에서의 트래픽 특성.
Fig. 5. Traffic rate ratios at Edge Router under over-provisioning.

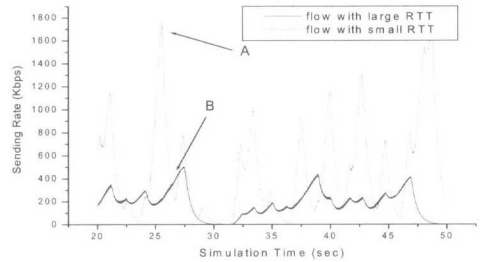


그림 6. 잉여 대역폭이 존재하는 상황에서 플로별 패킷 전송률.
Fig. 6. Sending rates of each flow under over-provisioning.

TCP 플로간의 상대적인 전송률은 일정하지 않다. 따라서 입구 라우터에 유입되는 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율도 일정하지가 않다. 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율이 최대가 되는 시점에서는 RTT가 상대적으로 작은 사용자 플로의 전송률이 최대가 되는 시점에 있을 확률이 크다. 따라서 이러한 시점에서 *promotion* 확률을 높이면 RTT가 상대적으로 작은 사용자 플로의 *yellow* 패킷이 *green* 패킷으로 *promotion*될 확률이 높으므로 사용자 플로간의 불공평성을 일으킨다.

그림 5는 도메인 입구 라우터에서 측정된 전체 트래픽률에 대한 *yellow* 트래픽률의 비율 및 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율을 나타낸 것이며 그림 6은 개별 플로 중에서 RTT가 작은 플로와 RTT가 큰 플로의 전송률을 나타낸 것이다. 그림 5의 'A' 시점과 같이 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율이 높은 시점에서는 그림 6의 'A' 시점과 같이 RTT가 작은 플로의 전송률이 최대에 있을 확률이 높다. 이러한 시점에서는 RTT가 작은 플로의 패킷이 내부 라우터에서 폐기될 확률이 높아져 많은 양의 패킷이 폐기된다. 따라서 RTT가 작은 플로의 전송률은 그림 6의 'B' 시점까지 줄어들게 되며 RTT가 작은 플로가 이전의 전송률을 회복하는 시점까지 RTT가 큰 플로의 전송률이 상대적으로 높아지게 된다. 이러한 시점에서 *promotion* 확률을 높인다면 RTT가 상대적으로 큰 사용자 플로의 *yellow* 패킷이 *green* 패킷으로 *promotion*될 확률이 높아지게 된다. 따라서 이러한 방법을 통하여 개별 플로에 대한 관리 없이도 RTT가 서로 다른 TCP 사용자 플로간의 공평성을 향상시킬 수 있다.

사용자 계약률 합이 집합 트래픽에 대한 계약률 보다 큰 상황에서는 대부분의 사용자 플로는

uf-TCM의 손실된 토큰을 전부 소비하지 못하기 때문에 *red* 트래픽은 거의 발생하지 않는다. AFM은 입구 라우터에 유입되는 트래픽에서 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율이 일정량 이하이면 대역폭이 부족한 경우가 우세하다고 판단한다. 대역폭이 부족한 상황에서도 잉여 대역폭이 존재하는 경우와 같은 논리로 전체 트래픽률에 대한 *yellow* 트래픽률의 비율이 최대가 되는 시점에서는 RTT가 상대적으로 작은 사용자 플로의 전송률이 최대가 되는 시점에 있을 확률이 높으므로 이 시점에서 *promotion* 확률을 낮추고 반대의 경우는 *promotion* 확률을 높이는 것이 바람직하다.

제안하는 방식에서는 단일 도메인 환경에서 대부분의 사용자 플로가 집합 트래픽에 대한 계약률의 범위 내에서 *yellow* 패킷이 *green* 패킷으로 *promotion*된다. 사용자 플로가 단일 도메인에서 다중 도메인 환경을 경유할 경우 만약 이전 도메인으로부터 유입되는 *green* 트래픽률이 도메인간 집합 트래픽에 대한 계약률 *contract_rate*보다 적다면 대부분의 사용자 플로는 *promotion* 상황만 겪을 것이다. 그러나 이전 도메인으로부터 유입되는 *green* 트래픽률이 도메인간 집합 트래픽에 대한 계약률보다 크다면 도메인간 입구 라우터에서 *green* 패킷이 토큰을 소비하지 못하여 강제적으로 *demotion* 되는 상황이 발생하여 사용자 플로간의 불공평성이 발생할 수 있다. 제안하는 AFM은 입구 라우터에 유입되는 *green* 트래픽률이 집합 트래픽에 대한 계약률보다 크고 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰 수가 *demotion* 영역에 있다면 *green* 패킷을 *yellow* 패킷으로 *demotion* 하여 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰이 다 소비 되어 발생하는 phase effect를 방지한다. *promotion* 상황과 마찬가지로의 논리로 *demotion* 상황에서는 *green* 트래픽률이 높을수록 RTT가 상대적으로 작은 사용자 플로의 전송률이 높은 시점에 있을 확률이 크므로 이러한 시점에서 *demotion* 확률을 높이면 RTT가 상대적으로 작은 플로에서 많은 양의 *green* 패킷이 *yellow* 패킷으로 *demotion* 될 확률이 높아진다. 따라서 *green* 트래픽률이 높으면 *demotion* 확률을 높이고 *green* 트래픽률이 낮은 상황에서는 *demotion* 확률을 낮추는 것이 바람직하다.

제안하는 방식에서는 *demotion* 및 *promotion* 확률 값에 트래픽률의 비율뿐만 아니라 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰 수도 반영한다. 따라서 *promotion*의 경우에는 *promotion* 영역에 남아 있는

토큰 수가 많을수록 *promotion* 확률 값을 높여 링크 이용률을 증가 시키고 *demotion*의 경우에는 *demotion* 영역에 남아 있는 토큰 수가 많을수록 *demotion* 확률 값을 낮추어 개별 플로의 수율 감소 및 링크 이용률의 저하를 방지한다. 그림 7은 제안하는 AFM의 알고리즘을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 입구 라우터에 유입되는 트래픽의 전체 트래픽률에 대한 *red* 트래픽률의 비율이 0.01 이상이면 잉여 대역폭이 존재하는 상황으로 가정한다.

```

if contract_rate ≤ green_rate -> enter Demotion Mode
if threshold ≥ token_depth - tokens -> enter balanced region
P_demo = 0
else -> enter demotion region
ratio = 1 - contract_rate / green_rate
P_demo = ratio * (1 - (tokens / (token_depth - threshold)))

else -> enter Promotion Mode
if threshold ≥ tokens -> enter balanced region
P_promo = 0
else -> enter promotion region
if red_rate / total_rate > 0.01 -> over-provisioning
ratio = red_rate / total_rate
else ratio = yellow_rate / total_rate -> under-provisioning
P_promo = 1 - ratio * (1 - (tokens - threshold / (token_depth - threshold)))
    
```

그림 7. AFM 알고리즘.
Fig. 7. The proposed AFM algorithm.

제안하는 AFM은 입구 라우터에 유입되는 트래픽의 *green* 트래픽률, *yellow* 트래픽률, *red* 트래픽률 및 전체 트래픽률의 측정을 위하여 Time Sliding Window (TSW) [9] 방법을 사용한다. 그리고 입구 라우터에 패킷이 도착할 때마다 *green* 트래픽률, *yellow* 트래픽률, *red* 트래픽률 및 전체 트래픽률의 값을 동시에 갱신한다. 모든 값을 동시에 갱신하는 이유는 만약 입구 라우터에 *green* 패킷이 도착하여 *green* 트래픽률과 전체 트래픽률만 갱신하면 *yellow* 트래픽률과 *red* 트래픽률의 갱신 기간이 길어져서 *promotion*과 *demotion*에 잘못된 값을

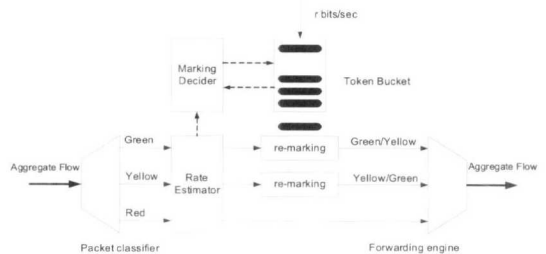


그림 8. AFM의 구조.
Fig. 8. The functional structure of AFM.

반영할 수 있기 때문이다. 따라서 만약 입구 라우터에 *green* 패킷이 도착한다면 *yellow* 트래픽률과 *red* 트래픽률의 값도 패킷 크기가 0인 *yellow* 패킷과 *red* 패킷이 도착한 것으로 간주하여 값을 갱신한다. 그림 8은 제안하는 Aggregate Fairness Marker의 구조를 나타낸 그림이다.

III. 시뮬레이션 모델 및 성능 평가

본 논문에서는 DiffServ 방식에서 사용자 플로우 관리의 수행 없이 AS를 사용하는 TCP 사용자에게 RTT가 다른 상황에서 집합적인 트래픽 관리의 방법으로 개별 플로의 수율 공평성을 향상시키는 방안에 초점을 맞추었으며 사용자별 플로의 패킷 표기 방법인 user flow Three Color Marker (uf-TCM)와 도메인 입구와 도메인간 입구 라우터에서 집합 트래픽을 관리하는 Aggregate Fairness Marker (AFM)를 제안하였다. 사용자 uf-TCM은 *yellow* 패킷을 손실될 토큰을 소비한 패킷으로 표기하여 REDP 방식의 *demotion*과 *promotion* 개념을 확장시킨다. AFM은 집합 트래픽의 계약 준수 여부를 판단하고 입구 라우터에 유입되는 트래픽의 특성과 토큰 버킷 내에 남아있는 토큰 수에 따라 *demotion*과 *promotion*을 수행하여 개별 플로간의 수율 공평성을 향상시킨다. 본 논문에서는 ns2 [20]를 이용하여 사용자별 Two Color 토큰 버킷 Marker와 REDP 방식을 같이 사용할 경우와 제안하는 uf-TCM과 REDP 방식을 같이 사용할 경우, 그리고 uf-TCM과 AFM을 같이 사용할 경우의 세 가지 방법을 비교 분석하였다.

3.1 단일 도메인 환경

그림 9의 시뮬레이션 모델은 본 논문에서 제안하는 AFM의 성능 분석을 위한 간단한 구조의 단일 도메인 환경을 나타낸다. 그림 9에서 송신 호스트의

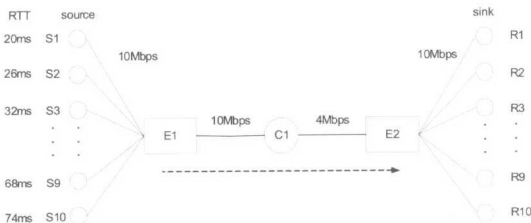


그림 9. 단일 도메인 시뮬레이션 모델.
Fig. 9. The simulation model for single domain case.

개수는 10개로 하였으며 RTT 값을 20ms에서 74ms까지 6ms씩 차이를 두었다. 각 송신 호스트는 TCP Reno 방식을 사용하였다. 한 개의 패킷 크기는 125bytes로 설정하였고 토큰 한 개의 값이 하나의 패킷을 처리하도록 하였다. 또한 DiffServ 도메인 입구 라우터에 유입되는 집합 트래픽에 대한 SLA 계약률을 4Mbps로 하였고 계약된 집합 트래픽에 대해서는 접속제어가 수행된 상황을 가정하여 C1 라우터의 병목 구간의 대역폭을 4Mbps로 하였다. 따라서 사용자별 플로의 계약률 합이 집합 트래픽에 대한 계약률 4Mbps와 일치하면 사용자 플로우에 최소 대역폭을 할당한 경우라고 할 수 있고, 4Mbps보다 적다면 잉여 대역폭이 존재하는 경우이다. 만약 사용자 계약률 합이 4Mbps 보다 크다면 사용자 플로우에 계약률에 못 미치는 대역폭을 할당한 경우라 할 수 있다. AFM의 토큰 버킷 크기는 60 packets로 하였고 *balanced* 영역의 크기를 10 packets로 하였다. REDP Marker의 토큰 버킷 크기는 60 packets로 하였고 *promotion threshold* 값 T_H 와 *demotion threshold* 값 T_L 를 각각 45 packets와 15 packets로 설정하였으며 MAX_{demo} 및 MAX_{promo} 값은 0.5로 하였다 [17]. 사용자별 Marker의 토큰 버킷 크기는 한 개의 packet 크기로 설정 하였다. C1 라우터에서는 RIO 방식을 사용하여 *yellow* 패킷과 *red* 패킷의 패킷 폐기 우선순위를 동일하게 하였으며, 토큰 버킷 크기에 해당하는 버스트 *green* 트래픽을 적절히 보호하도록 max_{in} 과 min_{in} 을 각각 60 packets와 45 packets로 하였고 max_{out} 와 min_{out} 에 대해서는 각각 40 packets와 20 packets로 설정 하였다. 또한 RIO 방식에서 사용되는 w_q 값은 0.002로 하였고 $P_{max_{in}}$ 과 $P_{max_{out}}$ 을 각각 0.02와 0.2로 설정하였다.

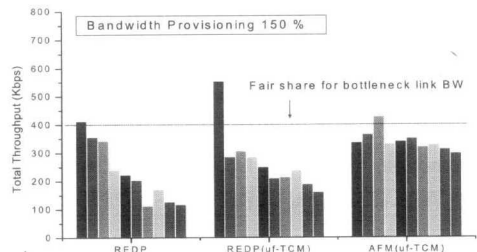


그림 10. 잉여 대역폭이 존재하는 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 10. Over-provisioning case.

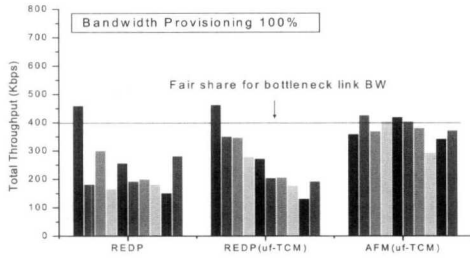


그림 11. 최소 대역폭이 있는 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 11. Exact-provisioning case.

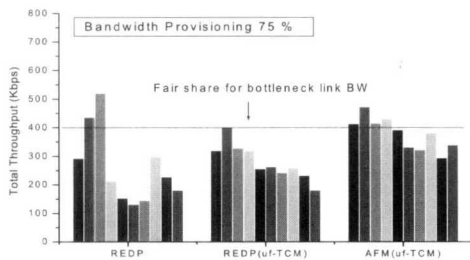


그림 12. 대역폭이 부족한 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 12. Under-provisioning case

그림 10, 11, 12는 사용자 플로별 계약률이 267Kbps인 경우와 400Kbps인 경우 그리고 533Kbps인 경우에 대한 사용자별 수율을 나타낸 것이다. 플로별 계약률이 267Kbps인 경우는 사용자 전체 계약률 합이 2.67Mbps 이므로 집합 트래픽에 대한 계약률 4Mbps보다 적어 잉여 대역폭이 존재하는 경우이다. 사용자 플로별 계약률이 400Kbps인 경우는 최소 대역폭이 존재하는 상황이며 533Kbps의 경우는 대역폭이 부족한 상황에 해당한다. 표 1은 그림 10, 11, 12의 결과에 대한 Fairness Index

표 1. Bandwidth Provisioning 값에 따른 Fairness Index와 링크 이용률.

Table 1. Fairness Index and Link Utilization for each provisioning case.

Bandwidth Provisioning	Fairness Index			Link Utilization(%)		
	150%	100%	75%	150%	100%	75%
REDP	0.837	0.879	0.816	57.67	59.46	65.04
REDP (uf-TCM)	0.87	0.884	0.957	67.38	65.82	70.11
AFM (uf-TCM)	0.99	0.99	0.98	85.28	94.4	94.74

[21]와 링크 이용률 값을 정리한 것이다. Fairness Index 값은 다음과 같이 정의 된다.

$$Fairness\ Index = \frac{\left(\sum_{i=1}^N T_i\right)^2}{N \times \sum_{i=1}^N T_i^2}$$

N은 사용자 플로의 개수이고 T_i 는 사용자 i 의 수율이다. Fairness Index 값은 T_i 값이 평균을 중심으로 흩어져 있는 정도를 나타내며 사용자 플로가 동일한 수율을 갖는다면 1의 값을 갖고 플로간 공정성이 떨어질수록 1.0 이하의 값을 갖는다. 그림 10, 11, 12 및 표 1의 결과에서 제안하는 AFM의 성능이 잉여 대역폭이 존재하는 경우와 최소 대역폭이 있는 경우, 그리고 대역폭이 부족한 경우의 세 가지 네트워크 상황에 대하여 가장 나은 결과를 보여 주고 있다. 또한 사용자별 Two Color 토큰 버킷

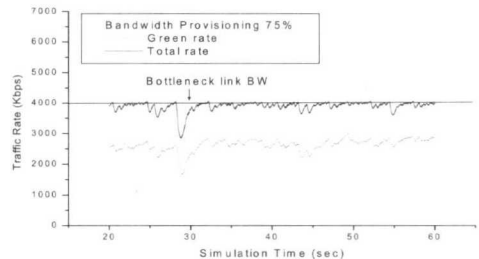


그림 13. 대역폭이 부족한 상황에서 E1 라우터에서 관측된 전체 트래픽률과 green 트래픽률.
Fig. 13. Incoming traffic rate at E1 Edge Router for under-provisioning case.

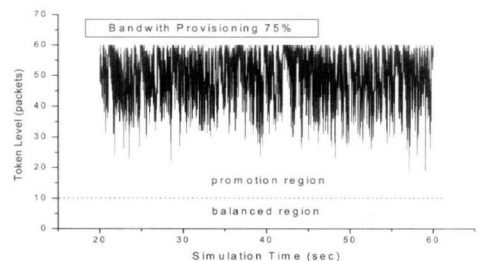


그림 14. 대역폭이 부족한 상황에서 AFM의 토큰 버킷 내의 토큰 수.
Fig. 14. Token level of token bucket in AFM at E1 Edge Router.

Marker와 REDP방식을 같이 사용하는 경우보다 본 논문에서 제안하는 uf-TCM과 REDP 방식을 같이 사용하는 경우가 좀 더 향상된 결과를 보여줄 수 있다.

그림 13은 대역폭이 부족한 경우에 E1 라우터에서 관측된 전체 트래픽률과 green 트래픽률이다. TCP 혼잡제어 알고리즘으로 인하여 TCP 사용자 플로우들이 병목구간을 공유하기 때문에 전체 트래픽률이 병목구간에 맞춰진다. 따라서 사용자 전체의 계약률 합이 집합 트래픽에 대한 계약률 보다 큰 경우에도 사용자 플로우에서 생성되는 green 트래픽률은 그림 13과 같이 집합 트래픽에 대한 계약률 4Mbps를 넘지 않는다. 따라서 단일 도메인 환경에서는 대역폭이 부족한 경우이더라도 demotion 상황은 거의 발생하지 않고 yellow 패킷에 대한 promotion이 발생할 확률이 크다. 그림 14는 대역폭이 부족한 상황에서 E1 라우터에 설정된 AFM의 토큰 버킷 내의 남아 있는 토큰 수를 나타낸 것이며 토큰 수가 promotion 영역에서 적절히 소비됨을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 사용자별 uf-TCM 방식은 사용자 플로우에서 yellow 패킷이 생성되므로 원래의 REDP 방식보다 demotion과 promotion 범위가 넓어진다. 따라서 REDP 방식과 사용자별 Two Color 토큰 버킷 Marker를 사용한 경우보다 REDP 방식과 uf-TCM 방식을 같이 사용한 경우가 링크 이용률 면에서 향상된 결과를 가져왔다. 그러나 사용자 간 플로우의 공정성을 크게 개선시키지는 못하였다. 왜냐하면 REDP 방식에서 토큰 버킷 내의 토큰이 promotion 영역이나 demotion 영역에 있는 경우, 집합 단위의 트래픽에 대하여 단순히 토큰 수에 비례하여 promotion과 demotion 확률을 결정하기 때문이다.

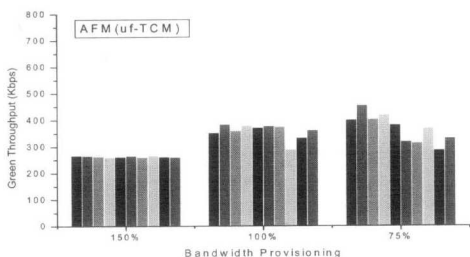


그림 15. 각 수신 호스트가 수신한 green 패킷 수율.
Fig. 15. Average green throughput of proposed scheme for each provisioning case.

그림 15는 제안하는 방식에서 각 수신 호스트가 수신한 green 패킷의 수율을 나타낸 것이다. 그림 14에서 잉여 대역폭이 존재하는 상황과 최소 대역폭이 존재하는 상황, 그리고 대역폭이 부족한 상황의 세 가지 경우에 대하여 RTT에 관계없이 비교적 green 패킷의 수율이 공정함을 알 수 있고 RTT가 상대적으로 큰 사용자 플로우에서 많은 양의 yellow 패킷이 promotion 됨을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 AFM은 입구 라우터에 유입되는 트래픽의 특성에 따라서 플로우별 관리없이 yellow 패킷을 green 패킷으로 promotion 하여 링크 이용률 뿐만 아니라 개별 플로우간의 공정성을 향상시킬 수 있다.

3.2 다중 도메인 환경

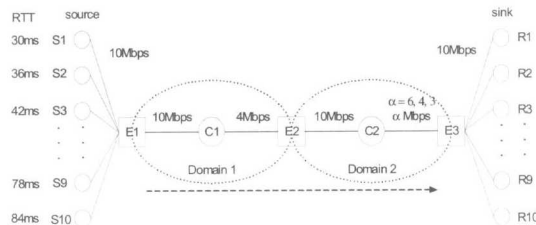


그림 16. 다중 도메인 시뮬레이션 모델.
Fig. 16. The simulation model for multiple domains case.

그림 16은 본 논문에서 제안하는 Aggregate Fairness Marker의 성능 분석을 위한 다중 도메인 시뮬레이션 모델이다. 그림 16에서 라우터 E1, E2는 각각 DiffServ 도메인 1, 2의 입구 라우터에 해당한다. 내부 라우터 C1, C2의 파라미터 값은 그림 9의 시뮬레이션 모델과 동일하게 하였다. 송신 호스트의 개수는 10개로 하였고 RTT 값을 30ms에서 84ms까지 6ms씩 차이를 두었다. 사용자별 플로우의 계약률은 400Kbps로 동일하며 도메인 1, 2를 경유한다. E1 라우터에 설정된 집합 트래픽에 대한 계약률은 4Mbps으로 고정하였으며 E2 라우터에 설정된 도메인간 계약률 α 값을 6Mbps, 4Mbps, 3Mbps로 하였다. 따라서 도메인 1에서는 최소 대역폭이 존재하는 상황이고, 도메인 2에서 계약률이 6Mbps와 4Mbps일 경우에는 각각 잉여 대역폭과 최소 대역폭이 존재하는 상황이며 3Mbps일 경우에는 대역폭이 부족한 상황이 된다. 도메인 입구 라우터 E1, E2내의 Marker에 대한 파라미터 설정치 및 각 송신 호스트에 설정된 사용자 플로우별 Marker의

파라미터 값은 그림 9의 시뮬레이션 모델과 동일하다.

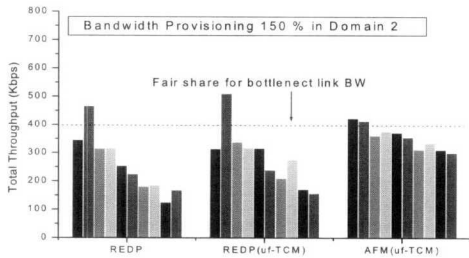


그림 17. 도메인 2에 잉여 대역폭이 존재하는 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 17. Over-provisioning case.

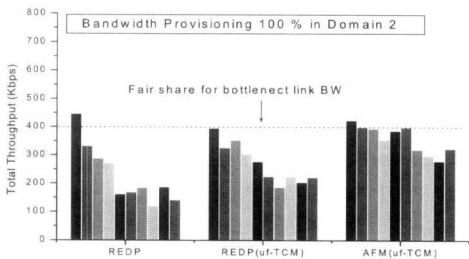


그림 18. 도메인 2에 최소 대역폭이 있는 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 18. Exact-provisioning case.

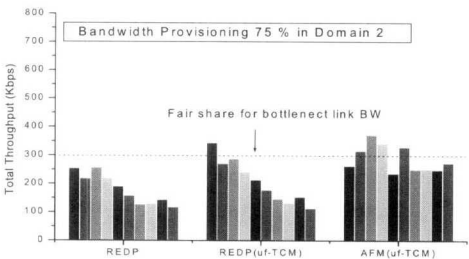


그림 19. 도메인 2에 대역폭이 부족한 경우 각 수신 호스트의 수율.
Fig. 19. Under-provisioning case.

그림 17, 18, 19은 그림 16의 다중 도메인 환경 시뮬레이션 모델에서 도메인 2에 잉여 대역폭이 존재하는 경우와 최소 대역폭이 있는 경우, 그리고 대역폭이 부족한 상황에서 각 수신 호스트의 수율을 나타낸 것이며 표 2는 Fairness Index와 링크 이용률을 정리한 것이다. 그림 17, 18, 19 및 표 2의 결

표 2 Bandwidth Provisioning 값에 따른 Fairness Index와 링크 이용률.
Table 2. Fairness Index and Link Utilization for each provisioning case.

Bandwidth Provisioning	Fairness Index			Link Utilization(%)		
	150%	100%	75%	150%	100%	75%
REDP	0.874	0.848	0.928	64.50	57.53	60.46
REDP (uf-TCM)	0.897	0.943	0.892	71.19	67.97	69.39
AFM (uf-TCM)	0.988	0.983	0.976	88.5	89.4	96.04

과에서 제안하는 방식이 가장 나은 결과를 보여 주고 있으며 REDP 방식에서도 사용자별 Two Color 토큰 버킷 Marker를 같이 사용하는 경우보다 uf-TCM을 같이 사용한 경우가 사용자 플로간의 공평성과 링크 이용률에서 좀 더 나은 결과를 보여 주고 있다.

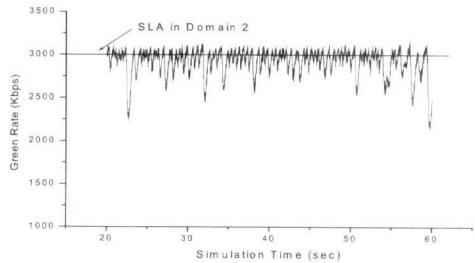


그림 20. 대역폭이 부족한 상황에서 E2 라우터에서 관측된 green 트래픽률.
Fig. 20. Incoming greenrate at E2 Edge Router under under-provisioning case in domain 2.

제안하는 방식에서 도메인간 계약률이 6Mbps와 4Mbps인 경우는 사용자 플로의 계약률 합보다 크거나 같은 경우이며 각각 잉여 대역폭과 최소 대역폭이 존재하는 상황이다. 따라서 대부분의 사용자 플로는 도메인간 입구 라우터 E2에서 demotion 상황을 겪지 않는다. 그러나 도메인간 계약률이 3Mbps인 경우는 demotion 상황이 발생한다. 그림 20은 도메인간 계약률이 3Mbps인 경우에 E2 라우터에서 측정된 green 패킷의 트래픽률이며 도메인간 계약률 3Mbps 보다 큰 경우가 발생함을 알 수 있다. 제안하는 방식에서 대부분의 사용자 플로는 도메인 입구라우터 E1에서 집합 트래픽에 대한 계약률 4Mbps 범위 내에서 yellow 패킷이 green 패킷으로 promotion 된다. 따라서 도메인 2의 E2 라

우터에서는 이전 도메인으로부터 3Mbps 보다 큰 green 트래픽이 유입되고 도메인간 계약률이 3Mbps 이므로 green 패킷에 대한 demotion 상황이 발생한다.

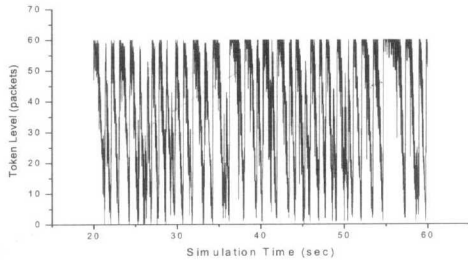


그림 21. demotion 상황에서 early demotion을 수행하지 않을 경우 E2 라우터에 설정된 AFM의 토큰 버킷 내의 토큰 수.
Fig. 21. Token level of token bucket in AFM at E2 Edge Router without demotion process under under-provisioning case.

그림 21은 demotion 상황에서 early demotion [17]을 하지 않았을 경우 E2 라우터의 토큰 버킷내의 토큰 수를 나타낸 것이며 green 패킷이 강제적으로 demotion 되어 phase effect가 발생되어 시간 영역에서 토큰 수가 0 개에서 60 개 사이를 움직이고 토큰이 적절히 소비되지 못하는 구간이 많음을 알 수 있다. 따라서 플로간의 불공평성이 발생하고 링크 이용률도 감소된다.

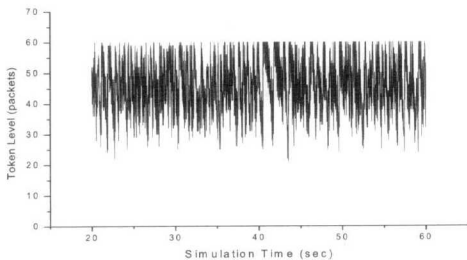


그림 22. demotion 상황에서 early demotion을 수행한 경우 E2 라우터에 설정된 AFM의 토큰 버킷 내의 토큰 수.
Fig. 22. Token level of token bucket in AFM at E2 Edge Router with demotion process under under-provisioning case.

그림 22는 demotion 상황에서 early demotion을 수행할 경우 AFM의 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰 수이며 시간 영역에서 토큰이 적절히 소비되고 남아 있는 토큰 수가 없는 경우가 생기지 않아

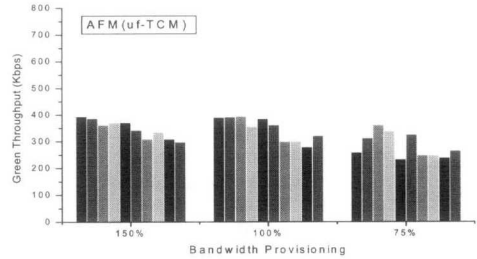


그림 23. 각 수신 호스트가 수신한 green 패킷 수율.
Fig. 23. Average green throughput of proposed scheme for each provisioning case.

phase effect가 발생하지 않음을 알 수 있다. 그림 23은 제안하는 방식에서 각 수신 호스트의 green 패킷 수율을 나타낸 것이며 도메인간 계약률에 관계없이 플로간의 green 패킷 수율이 비교적 공평함을 알 수 있다.

3.3 balanced 영역의 크기 설정

본 논문에서 제안하는 AFM의 balanced 영역은 불필요한 promotion과 demotion 과정을 방지하기 위한 것이다 [17]. 단일 도메인 환경에서는 promotion 상황이 지배적이고 대부분의 사용자 플로의 yellow 패킷은 green 패킷으로 promotion 되므로 balanced 영역의 값이 너무 크면 promotion 영역이 상대적으로 작아져 링크 이용률 저하 및 사용자 플로간의 공평성을 크게 개선시킬 수 없다. 다중 도메인 환경에서는 demotion 상황이 발생할 경우 balanced 영역이 너무 크면 green 패킷에 대한 적절한 demotion을 수행할 수 없어 phase effect가 생길 수 있다. 만약 balanced 영역이 너무 작으면 토큰 버킷 내의 남아있는 토큰 수가 많음에도 불구하고 green 패킷에 대한 demotion이 많이 발생하여

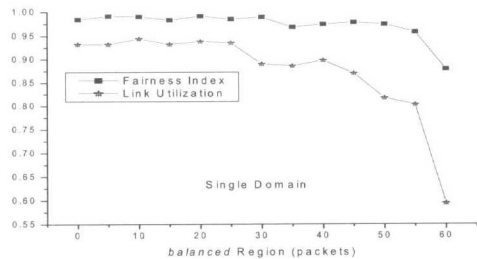


그림 24. 단일 도메인 환경에서 balanced 영역의 크기에 따른 Fairness Index 및 링크 이용률.
Fig. 24. Fairness index and link utilization in single domain case.

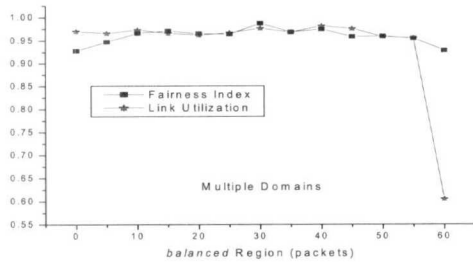


그림 25. 다중 도메인 환경의 demotion 상황에서 *balanced* 영역의 크기에 따른 Fairness Index 및 링크 이용률.
 Fig. 25. Fairness index and link utilization in multiple domain case.

전체적인 링크 이용률 저하를 가져올 수 있다. 따라서 단일 도메인 상황과 다중 도메인 상황을 고려하여 *balanced* 영역을 결정해야 한다.

그림 24는 그림 9의 단일 도메인 시뮬레이션 모델에서 E1 라우터에 설정된 AFM의 *balanced* 영역의 크기에 따른 Fairness Index 및 링크 이용률을 나타낸 것이다. *balanced* 영역의 크기가 30 packets 이하의 값에서는 Fairness Index와 링크 이용률이 비교적 일정하나 30 packets 이상의 값에서는 두 값이 전반적으로 감소됨을 알 수 있다. 특히 링크 이용률의 감소 폭이 큼을 알 수 있으며 *balanced* 영역은 링크 이용률과 관계가 있음을 알 수 있다. 그림 25는 그림 16의 다중 도메인 시뮬레이션 모델에서 demotion이 발생하는 상황에서 도메인 입구 라우터 E1과 도메인간 입구 라우터 E2에 설정된 AFM의 *balanced* 영역의 크기를 동일하게 설정한 경우 *balanced* 영역의 증가에 따른 Fairness Index 및 링크 이용률을 나타낸 것이다. E1 라우터에서는 패킷 promotion 상황이 지배적이며 E2 라우터에서는 패킷 demotion 상황이 지배적인 경우다. 전반적으로 *balanced* 영역의 크기가 10 packets 과 45 packets 사이의 값을 갖는 경우가 다른 값에 비하여 사용자 플로간의 공평성 및 링크 이용률에서 좋은 값을 나타내었다. 본 논문의 시뮬레이션 모델 및 그림 24와 그림 25의 결과로부터 단일 도메인 환경과 다중 도메인 환경을 고려할 경우 *balanced* 영역의 크기 값이 10 packets 과 40 packets 사이의 값을 갖는 경우가 사용자 간의 공평성과 링크 이용률에서 적당한 값으로 나타났다.

IV. 결론

본 논문에서는 DiffServ 방식의 AS를 사용하는 TCP 사용자 플로간의 수율 공평성 향상을 위한 방법에 초점을 맞추었으며 토큰 버킷 기반의 사용자 플로별 Marker에서 손실된 토큰을 소비하는 패킷을 yellow 패킷으로 표기하는 user flow Three Color Marker (uf-TCM)를 제안하였다. 또한 도메인 입구 라우터에서 개별 플로의 관리 없이 집합 플로의 관리를 통하여 입구 라우터에 유입되는 green 트래픽률, yellow 트래픽률, red 트래픽률 및 전체 트래픽률의 특성에 따라 demotion 및 promotion을 수행하여 RTT가 서로 다른 TCP 플로간의 수율 공평성 향상 및 링크 이용률을 향상 시키는 Intermediate Marker인 Aggregate Fairness Marker (AFM)을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터 본 논문에서 제안하는 방식이 기존에 제안되었던 REDP 방법보다 단일 도메인과 다중 도메인 환경에서 TCP 플로간의 공평성 향상 및 링크 이용률 향상에 좋은 결과를 나타냄을 확인 할 수 있었고 REDP 방식과 본 논문에서 제안하는 uf-TCM 방식을 같이 사용할 경우에도 사용자 플로별로 yellow 패킷이 생성되어 REDP 방식의 성능을 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] P. Ferguson and G. Huston, *Quality of Service*, New York: Wiley, 1998.
- [2] R. Barden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," *Internet RFC 1633*, June 1994.
- [3] S. Blake, D. Blake, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," *Internet RFC 2475*, December 1998.
- [4] J. Wroclawski, "The use of RSVP with IETF Integrated Services," *Internet RFC 2210*, September 1997.
- [5] X. Xiao and L. M. Ni, "Internet QoS: The big picture," *IEEE Network Mag.*, pp. 8-18, March/April 1999.
- [6] Oottamakorn, C. Bushmitch, D "A Diffserv

- Measurement-based Admission Control Utilizing Effective Envelopes and Service Curves," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 4, June 2001.
- [7] V. Jacobson, K. Nichols, and K. Poduri, "An Expedited Forwarding PHB," *RFC 2598*, June 1999.
- [8] J. Heinanen, F. Baker, and et. al., "Assured Forwarding PHB Group," *RFC 2597*, June 1999.
- [9] D. Clark, W. Fang, "Explicit Allocation of Best Effort Packet Delivery Service," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 4, pp. 362-373, August 1998.
- [10] A. Basu, Z. Wang, "A Comparative Study of Schemes for Differentiated Services," Bell labs Technical Report, August 1988.
- [11] W. Feng, D.D. Kandlur, D. Saha, K.G. Shin, "Adaptive Packet Marking for Providing Differentiated Services in the Internet," *Proceedings of the International Conference on Network Protocols*, October 1998.
- [12] Ilias Andrikopoulos and et. al., "A Fair Traffic Conditioner for the Assured Service in a Differentiated Service Internet," *Proceedings of ICC 2000*, pp. 806-810, June 2000.
- [13] Ikjun Yeom and A. L. Narasimha Reddy, "Marking for QoS Improvement," *Computer Communications*, vol. 1, no. 14, pp. 35-50, January 2001.
- [14] Ikjun Yeom and A. L. Narasimha Reddy, "Impact of Marking Strategy on Aggregated Flows in a Differentiated Services Network," *IEEE International Workshop on QoS*, pp. 156-158, May 1999.
- [15] F. Reichmeyer, L. Ong, A. Terzis, L. Zhang, and R. Yavatkar, "A Two-tier resource management model for differentiated services networks," *Internet Draft*, November. 1998.
- [16] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, M. Carlson, B. E. Carpenter, S. Keshav, E. Davies, B. Ohlman, and D. Berma, "A framework for differentiated services," *Internet Draft*, February 1999.
- [17] F. Wang, P. Mohapatra, S. Mukherjee, D. Bushmitch, "A Random Early Demotion and Promotion Marker for Assured Services," *IEEE Journal of Selected Area in Communication*, vol. 18, no. 12, December 2000.
- [18] S. Floyd and V. Jacobson, "On traffic phase effect in packet switched gateways," *Internetworking : Research and Experience*, vol. 1, no. 3, September 1992.
- [19] Wu-chang Feng and et. al., "Understanding and Improving TCP Performance Over Networks with Minimum Rate Guarantee," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 7, no.2, pp. 173-187, April 1999.
- [20] UCB/LBNL/VINT, "Network Simulator-ns (version2)", <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>, 1998.
- [21] R. Jain, *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*, P.36 & 387. New York, NY: John Wiley and Sons Inc., April 1991.

박 지 훈(Ji Hoon Park)

정회원



2002년 2월: 고려대학교
전기공학과 학사
2004년 2월: 고려대학교
전자공학과 석사
2004년 3월~현재: 삼성전자
연구원

<주관심분야> 통신네트워크 설계, IP 네트워크, IP QoS

허 경(Kyeong Hur)

정회원



1998년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
2000년 2월: 고려대학교
전자공학과 석사
2000년 3월~현재: 고려대학교
전자공학과 박사과정 재학 중

<주관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, IP 네트워크, 이동멀티미디어 시스템

엄 두 섭(Doo Seop Eom)

정회원



1987년 2월: 고려대학교
전자공학과 학사
1989년 2월: 고려대학교
전자공학과 석사
1999년 3월: 일본오사카대학
정보통신공학과 박사
1989년 2월~1999년 8월:
한국전자통신연구소 연구원

1999년 9월~2000년 8월: 원광대학교 전임강사
2000년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 부교수

<주관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석,
무선 ATM, IP 네트워크