

TCP 와 UDP 흐름의 공평성 향상을 위한 트래픽 조절 메커니즘

이성근^{*}

요 약

차별서비스 네트워크는 IP 네트워크를 기반으로 서비스 품질에 대해 유사한 요구조건을 갖는 연결 집합에 대해 동일한 서비스를 제공한다. 트래픽 조절 메커니즘은 차별서비스 네트워크를 실현시키는 핵심 기능 중의 하나이다. 본 논문은 TCP 와 UDP 트래픽이 공존하는 네트워크 상황에서 TCP 트래픽의 예약 전송률을 보장하고, 과잉 배치된 네트워크 구조에서 UDP와 TCP 흐름이 여분 대역폭을 공평하게 분배할 수 있는 개선된 트래픽 조절 메커니즘을 제안한다. 시뮬레이션 방법에 의한 분석을 통해, 제안된 메커니즘은 다양한 네트워크 상황에 대해서 UDP 흐름에 따른 TCP 트래픽의 성능 저하 문제를 크게 완화하고, 여분 대역폭에 대해서도 비교적 공평하게 분배한 것으로 나타났다.

A Traffic Conditioning Mechanism for Enhancing the Fairness of TCP and UDP Flows

Sung-Keun Lee^{*}

ABSTRACT

Differentiated services network (DiffServ) aims to provide the same service to a group of connections that have similar Quality of Service requirements. One of the essential function to realize DiffServ is the traffic conditioning mechanism. The paper proposes the enhanced traffic conditioning mechanism which can assure the reserved rates of TCP and UDP flows and support fair distribution of excess bandwidth. The simulation results show that the new mechanism is rather insensitive of the effect of UDP against TCP throughput, and performs better both in terms of throughput assurance and fair distribution of excess bandwidth in case of well-provisioned and over-provisioned network environment.

Keywords : Traffic conditioner, Internet QoS, Differentiated Services Network

1. 서 론

차별서비스 네트워크는 현재의 인터넷을 기반으로 다양한 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여, 사용자 요구에 따라 차별화된 서비스

품질(Quality of Service : QoS)을 제공할 수 있는 구조 모델이다[1]. 차별서비스는 개별적인 흐름(flow) 단위로 처리하지 않고, 사용자의 흐름을 일정한 범위의 서비스 클래스로 분류하여 처리함으로써 서비스의 차별화 및 고속의 패킷 전달이 가능하다. 복잡한 트래픽 조절 기능들은 경계 라우터에서 수행하고, 차별서비스 영역내의 내부

^{*} 정 회 원: 순천대학교 정보통신공학부 부교수
논문접수: 2003년 12월 12일, 심사완료: 2004년 1월 14일

라우터에서는 간단한 패킷 전달 기능만 수행함으로써 대규모 통신망에서도 쉽게 적용할 수 있는 방식이다[1].

차별서비스 네트워크는 SLA(Service Level Agreement), 경계 라우터의 트래픽 조절 기능과 내부 라우터의 큐 관리 기능으로 구성된다[2][3]. 가입자는 서비스 특성에 맞는 QoS 파라미터에 대해 서비스 제공자와 계약을 체결한다. 가입자가 SLA 를 준수한다면, 통신망이 혼잡시에도 서비스 제공자는 최소한의 계약 전송률을 보장하며, 통신망내의 자원의 여유가 있을 때는 초과되는 자원을 각 가입자에게 공평하게 분배한다. 차별서비스 모델은 네트워크 혼잡 상황에서도 계약 전송률에 따라 최소 대역폭을 보장할 수 있다는 연구 결과가 나타났으나, 몇 가지 해결하여야 할 중대한 문제가 제기되었다[2][4]. 즉, TCP 의 혼잡제어 방법에 기인하여 Round trip time(RTT), 계약 전송률의 크기, UDP 흐름에 따른 TCP 흐름의 전송률의 저하 현상, 결합되는 흐름의 개수 등의 요소에 의해 동일한 클래스에 속한 흐름간의 서비스 보장 정도가 달라지는 현상이 지적되었다[4][12][13]. 특히 UDP 의 영향에 따라 TCP 흐름의 성능이 크게 저하되는 현상은 매우 심각한 문제로 지적되고 있다. 따라서 UDP 흐름으로부터 TCP 성능을 보호하고, 여분 대역폭의 공평한 분배를 실현시킬 수 있는 트래픽 조절 기능 및 큐 관리 메커니즘에 대한 연구가 진행되고 있다. [6]에서는 경계 라우터에서 TCP 와 UDP 패킷을 마킹할 때, 6가지 시나리오에 따라 서로 다른 폐기 우선순위를 갖도록 마킹하는 방안에 대해 연구하였으나, 이러한 방법만으로는 TCP 성능 저하 문제를 완전히 해결할 수 없다고 지적하였다.

본 논문에서는 UDP 흐름과 TCP 흐름이 공존할 때, 네트워크 혼잡 상황에서도 전송률을 감소하지 않은 UDP 흐름으로부터 TCP 흐름의 성능을 보호할 수 있고, 과잉 배치된 네트워크 구조에서 UDP 와 TCP 흐름이 여분 대역폭을 공평하게 분배할 수 있는 개선된 트래픽 조절 메커니즘을 제안한다. 본 메커니즘의 특징은 네트워크 혼잡 상황에 대응하는 TCP 에 대해서는 확률적 마킹을 수행하고, 혼잡 제어 메커니즘을 수행하

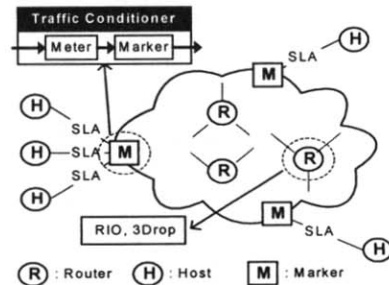
지 않는 UDP 흐름에 대해서는 절대적 마킹 알고리즘을 적용한다는 점이다. 제안한 알고리즘의 성능 분석은 ns-2 [5] 를 이용한 시뮬레이션 방법에 의해 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

제2장에서는 차별서비스 네트워크의 기본 구조에 대해 설명하고, 제3장에서는 트래픽 조절 기능과 기존 방식의 문제점을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 제4장에서는 제안한 트래픽 조절 메커니즘에 대해 설명하고, 제5장에서는 시뮬레이션 방법을 통해 제안한 메커니즘의 성능을 분석한다. 제6장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 언급한다.

2. 차별서비스 네트워크의 구조

차별서비스 네트워크의 구조를 (그림 1)에 나타내었다. 경계 라우터내의 트래픽 조절 기능은 유입되는 흐름의 전송률을 측정하여, 계약을 준수하면 IN 으로, 계약을 초과하는 패킷을 OUT 으로 마킹하여 내부 네트워크로 전달한다.



(그림 1) 차별서비스 네트워크

내부 라우터내의 PHB(Per Hop Behavior) 는 패킷의 마킹 정보(IN 또는 OUT) 에 따라 차별적으로 패킷을 전달한다[1]. PHB 는 특정한 차별서비스 네트워크에서 각 서비스에 제공하는 패킷 전달 행위를 의미하며, 일반적으로 RIO (RED with In/OUT) 등과 같은 큐 관리 메커니즘을 의미한다. 현재까지 EF(Expedited Forwarding) PHB 와 AF(Assurance Forwarding) PHB 가 정의되었다. EF PHB 는 일정한 대역폭을 반드시

보장하여 종단간 패킷의 매우 작은 지연과 지연 변이를 보장하는 전달방식으로 Virtual Leased Line 과 같은 프리미엄 서비스에 적용될 것으로 예상된다[7]. AF PHB 는 보장형 서비스를 실현하기 위해 제안되었고, 패킷 전달의 적시성에서 네 개의 클래스로 분류되며, 각 클래스는 다시 패킷 폐기 우선순위 면에서 세 개의 레벨로 세분화된다[8]. 보장형 서비스를 실현하기 위한 내부 라우터의 큐 관리 기법은 대부분 RIO 를 적용하고 있다. RIO 는 IN 패킷과 OUT 패킷 각각에 대한 RED (Random Early Detect) 알고리즘을 사용하며, 각 큐에는 두 개의 임계값을 설정한다. 평균 큐 크기가 첫 번째 임계값 이하이면, 패킷을 폐기하지 않으며 큐 길이가 두 임계값 사이에 있으면 패킷을 확률적으로 폐기한다. 망 혼잡이 발생하여 큐 길이가 두 번째 임계값 이상이면 모든 패킷을 폐기한다[2]. RIO 는 OUT 패킷을 우선적으로 폐기함으로써 SLA 를 초과하여 전송하는 흐름이 다른 흐름의 성능을 침해하는 것을 방지할 수 있다. IN 패킷은 망 혼잡시에도 손실률이 낮으므로 계약을 준수하는 가입자는 망으로부터 예측 가능한 서비스를 제공받을 수 있다.

3. 트래픽 조절 기능 분석

3.1. 트래픽 조절기의 기능

보장형 서비스는 차별적 패킷 분류와 AF PHB 를 통해 실현되며, 12 가지의 서로 다른 패킷 전달 서비스 품질을 제공하고, 네트워크 혼잡상황에서도 가입자에게 최소한의 전송률을 보장하는 서비스이다. 따라서 보장형 서비스가 성취해야 할 두 가지 필수조건은 각 흐름에 대해 일정한 기간동안 평균적으로 사전 계약된 만큼 데이터 전송을 제공하는 전송률 보장문제와 여분 대역폭에 대해 동등하게 분배되어 한다는 공평성 문제를 들 수 있다. 트래픽 조절기는 일반적으로 경계 노드의 기능에 속하며, 유입되는 패킷을 적절히 분류하고, 사용자와 계약된 서비스 프로파일을 기준으로 하여 DS(Differentiated Service) 코드 값을 할당하는 기능을 수행한다. 트래픽 조절

기의 구성 요소는 다양한 컴포넌트의 결합을 통해 구성될 수 있는데, 대부분의 트래픽 조절기는 미터와 마커로서 구현된다[9].

3.2. Time Sliding Window (TSW) 알고리즘

보장형 서비스를 위한 트래픽 조절기법은 유입된 트래픽에 대한 측정 방법에 따라 토큰 버킷 방식과 평균율 평가(average rate estimator) 방식 분류할 수 있으며, 다양한 토큰 버킷 방식이 제안되었다[10][11]. 토큰 버킷 방법은 경계 라우터에서 각 흐름 또는 흐름 집합 별로 버킷을 할당하고, 초당 R bps 비율로 토큰을 생성한다. 사용자로부터 패킷이 도착할 때, 버킷 내에 입력된 패킷 크기의 토큰이 존재하면, 해당 패킷을 IN 으로 마킹하고, 해당 패킷 크기만큼의 토큰을 버킷으로부터 제거한다. 만일 입력된 패킷을 처리할 수 있는 토큰이 존재하지 않는 경우에는 패킷을 OUT 으로 마킹한다. 평균율 평가에 기반을 둔 방식은 목표 전송률의 초과 여부에 따라 폐기 우선 순위를 결정하여, 패킷을 마킹한다. 이러한 방식은 평균 목표 전송률 관점에서는 적절한 방식이다. (그림 2)에 가장 대표적인 평균율 평가 방법인 TSW(Time Sliding Window) 의 알고리즘을 나타내었다[2].

```

<TSW 의 평균율 측정 알고리즘>
초기화:
  Win_length = constant;
  avgRate = Target_rate;
  T_front = 0;
패킷 도착시 :
  Bytes_in_TSW = avgRate * Win_length;
  New_bytes = Bytes_in_TSW + pkt_size;
  avgRate = New_bytes/(now - T_front + Win_length);
  T_front = now;

  <TSW 의 패킷 마킹 알고리즘>
  if avgRate < Target_rate
    mark packet as IN;
  else
    calculate P = 1 - Target_rate/avgRate;
    with P, mark the packet as OUT;
    
```

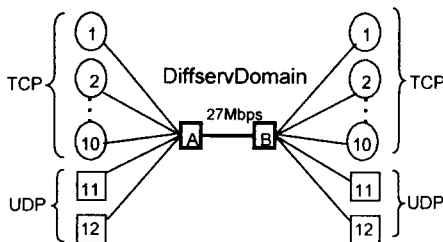
(그림 2) TSW 평균율 측정 및 마킹 알고리즘

TSW 는 두 부분으로 구성되는데, 하나는 전송률 측정 부분이고, 다른 하나는 마킹 알고리즘이다. 전송률 측정 부분은 순간적인 전송률의 민감성을 반영하면서 동시에, TCP 트래픽의 버스트 특성을 완만하게 만드는데 사용된다. TSW 는 각 패킷의 도착시의 전송률을 측정하고, 일정 시간이 지나면 측정치의 기록을 버린다. TSW 는 *Win_length* 파라미터에 따라 유입되는 트래픽의 측정값이 다르게 해석될 수 있다. 즉, *Win_length* 값이 적은 경우에는 짧은 기간의 전송률을 측정하는 것으로서 급변하는 트래픽에 대해 정확한 측정값을 파악할 수 있지만, 상대적으로 연결 지속 시간이 긴 TCP 트래픽의 경우 부정확한 값을 얻게 된다. 또한 *Win_length* 값이 큰 경우에는 일정 기간동안의 평균 전송률을 측정하는데 비교적 정확한 값을 얻을 수 있으나, 순간적인 트래픽 변화에 적절히 대응하지 못한 점이 문제점으로 지적된다[12]. 마킹 알고리즘은 측정된 전송률이 예약 전송률을 준수하면 IN 으로 마킹하고, 초과 시에는 일정한 확률값을 가지고 패킷을 OUT 으로 마킹한다.

3.3. TCP 와 UDP 흐름의 편향성 분석

본 절에서는 TSW 에 기반한 트래픽 조절 기능을 적용하였을 때, TCP 와 UDP 트래픽이 공존하는 네트워크 환경에서 TCP 트래픽의 처리율 저하 현상을 분석하기 위해 ns-2 를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다.

네트워크 구조는 (그림 3)과 같이 라우터 A 와 B 사이에 하나의 공통 링크로 연결된다.



(그림 3) 시뮬레이션 네트워크 구성도

각각의 라우터에는 12 개의 호스트가 연결되어

있다. 각 소스 호스트 (i) 는 싱크 호스트 (i) 에 트래픽을 전송한다. 10개의 호스트는 TCP 트래픽을, 2 개의 호스트는 UDP 트래픽을 생성한다. 모든 흐름의 RTT 값은 40 msec 로 모두 동일한 값을 갖도록 하였고, 패킷의 크기는 1000 바이트로 가정하였다. 라우터간의 백본 링크의 전송 대역폭은 각각 20Mbps, 27Mbps, 35Mbps 를 갖는다고 가정하여, 네트워크의 혼잡 상황, 적절히 배치된 상황 및 과잉 배치된 상황에 대해 평가할 수 있도록 하였다.

TCP 버전은 현재 가장 많이 적용되는 TCP Reno 를 이용하였고, 트래픽 종류는 ftp 트래픽으로 가정하였다. 내부 라우터의 큐 관리 기법은 RIO 를 적용하였고, 시뮬레이션을 위한 RIO 파라미터는 OUT 패킷은 10/40/0.2, IN 패킷은 40/70/0.02 으로 설정하였다. 시뮬레이션은 30 초 동안 실행하여, 안정 상태에 도달한 마지막 20 초 동안 수신한 패킷의 성취된 전송률을 측정한다. 시뮬레이션 결과값은 동일한 환경에서 seed 를 달리하면서 7번 실행하여 최대, 최소값을 제외한 나머지 5번의 결과에 대해 평균값으로 취하였다. <표 1>은 백본 링크의 대역폭 27Mbps 로 적절히 배치된 환경에서의 각 흐름별로 예약 전송률, 목표 전송률 및 성취 전송률을 나타내었다.

<표 1> 성취된 처리율 (단위: Mbps)

flow	예약 전송률	목표 전송률	성취 전송률 (throughput)
1	1	1.25	0.96
2	1	1.25	0.95
3	1.5	1.75	1.29
4	1.5	1.75	1.38
5	2	2.25	1.86
6	2	2.25	1.82
7	2.5	2.75	2.03
8	2.5	2.75	2.12
9	3	3.25	2.57
10	3	3.25	2.44
11	2	2.25	4.55
12	2	2.25	4.56

차별서비스 환경에서 각 호스트의 예약 전송률을 R_i , 백본 링크의 대역폭을 C , 활성화된 흐름의 개수가 n 일 때, 각 흐름의 목표 전송률 T_i 는

식 (1) 과 같이 정의된다[13].

$$T_i = R_i + [C - \sum_{k=1}^n R_k] / n \quad (1)$$

<표 1>의 결과를 분석하면, 모든 TCP 흐름은 자신의 목표 전송률은 물론 예약 전송률에도 미치지 못한 전송률을 나타낸 반면, UDP 흐름은 목표 전송률을 크게 초과하는 결과를 나타내었다. 따라서 TCP 와 UDP 트래픽이 공존하는 경우, 네트워크 혼잡에 대응하지 않는 UDP 트래픽 때문에 TCP 트래픽의 성취 전송률이 저하되는 편향 현상이 두드러지게 나타나고, 초과 대역폭에 대한 공평한 대역 할당이 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 이러한 문제는 [2][4] 의 연구 결과에서도 지적되었다. 또한, TCP 흐름의 경우 각 흐름 별로 예약 전송률의 크기에 따라 비례적인 전송률을 성취하였다. 그러나 예약 전송률의 크기에 따라 성취 전송률의 편향 현상이 발생했으며, 이러한 결과는 [2][3][4][12] 의 연구 결과와 일치한다. 즉, 예약 전송률이 낮은 흐름(흐름 1, 2)은 자신의 예약 전송률에 근접한 전송률을 얻었으나, 예약 전송률이 상대적으로 큰 흐름(흐름 9, 10)은 목표 전송률은 물론 예약 전송률에도 크게 도달하지 못한 결과가 나타났다.

4. 개선된 트래픽 조절 기법 제안

UDP 에 의한 TCP 트래픽의 처리율 편향 현상은 [2][4]에서 지적하였듯이 TCP 의 혼잡 제어 방식에 의해 기인한다. 즉, TCP 는 네트워크 내부에서 패킷이 폐기될 때 네트워크가 혼잡 상황이 발생한 것으로 간주하고, 현재의 패킷 전송률을 절반으로 줄임으로서 혼잡 제어 절차를 수행한다. 하지만 UDP 의 경우 이러한 혼잡 제어 메커니즘을 수행하지 않고, 지속적인 데이터 전송을 수행하므로 TCP 에 비해 더 높은 전송률을 성취하게 된다.

현재 인터넷의 대부분의 트래픽은 TCP 흐름을 이용하지만, 최근 인터넷을 기반으로 한 실시간 멀티미디어 트래픽의 증가에 따라 UDP 흐름을 이용한 트래픽도 점차 증가하는 추세이다. 따라서 차별서비스 네트워크 모델을 인터넷 QoS 보장을 위한 프레임워크로 적용하기 위해서는 이리

한 문제는 반드시 해결되어야 하고, TCP 와 UDP 모두에게 공평하게 전송률을 보장할 수 있는 방안이 제시되어야 한다. TCP 와 UDP 흐름에게 제공하여야 할 공평성에 대한 2 가지 기준은 다음과 같다[6][12].

첫째, 적절히 배치되거나 과잉 배치된 네트워크 환경에서 모든 UDP 와 TCP 흐름들의 목표 전송률은 달성되어야 하고, 초과 대역폭은 모든 흐름에게 공평히 분배되어야 한다.

둘째, 네트워크에 혼잡 상황이 발생한 경우에는 모든 UDP 와 TCP 흐름들이 각각의 목표 전송률에 비례해서 성능 저하가 이루어져야 한다.

TCP 와 UDP 흐름의 공평성 보장을 위해 본 논문에서 제안한 마킹 알고리즘을 (그림 4)에 나타내었다. 유입되는 흐름의 전송률을 평가하는 평균을 측정 알고리즘은 TSW 와 동일하다.

```

for each packet arrival
  estimate the transmission rate R
  get the reservation rate Rt
  if (Incoming flow is TCP traffic) {
    if (R <= Rt)
      mark the packet as DP0
    else if (R <= K * Rt) {
      calculate P0 = 1 - Rt/R
      with Prob. P0, mark the packet DP1
      with Prob. (1-P0), mark the packet DP0
    }
  }
  else {
    calculate P1 = 1 - Rt/R
    with Prob. P1, mark the packet DP2
    with Prob. (1-P1), mark the packet DP0
  }
}

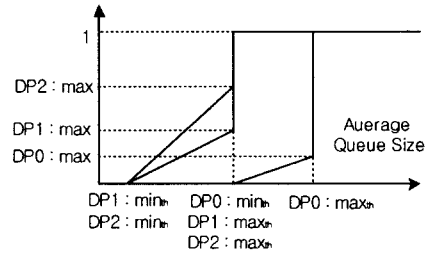
if (Incoming flow is UDP traffic) {
  if (R <= Rt)
    mark the packet as DP0
  else
    mark the packet as DP2
}
}
    
```

(그림 4) 개선된 마킹 알고리즘

(그림 4)에 나타낸 바와 같이 제안한 알고리즘은 DP0, DP1, DP2 등 3-color 마킹을 적용하고, TCP 와 UDP 흐름을 구분하여 각기 다른 마킹

확률을 적용한다. 내부 라우터에서 DP0 로 마킹된 패킷의 폐기 확률이 가장 낮으며, DP2 의 폐기 확률이 가장 높게 설정된다. 임의의 TCP 흐름의 예약 전송률을 R_i 하고 가정할 때, 혼잡 제어 메커니즘을 수행하는 TCP 는 $0.66 \cdot R_i$ 와 $1.33 \cdot R_i$ 범위의 순시적인 전송률을 갖고, 일정한 기간을 통해 관찰할 때는 평균 전송률은 R_i 에 근접함을 알 수 있다[2]. 따라서 예약 전송률을 초과하는 TCP 흐름에 대해 OUT 으로 마킹할 확률은 예약 전송률과 현재 유입되는 실제 전송률 간의 비율에 따라 확률 함수를 이용하여 결정하는 것이 적합하다. TCP 의 경우 현재 유입되는 흐름의 측정된 전송률이 예약 전송률을 초과하지 않는 경우에는 패킷 폐기 확률이 가장 낮은 DP0 으로 마킹한다. 또한 측정된 전송률이 예약 전송률을 약간 초과할 때는 폐기 확률이 낮은 DP1 으로 마킹하고, 측정된 전송률이 예약 전송률의 K 배 이상으로 크게 초과할 때는 패킷 폐기 확률이 상대적으로 큰 DP2 로 마킹함으로써 전체적으로 모든 TCP 흐름이 $0.66 \cdot R_i$ 와 $1.33 \cdot R_i$ 범위에서 안정적으로 동작되도록 한다. 본 논문에서는 K 값을 2 로 설정하였다. 혼잡 제어 기능을 수행하지 않은 UDP 는 절대적 마킹을 적용한다. 즉, 현재 유입되는 UDP 흐름의 측정된 전송률이 예약 전송률을 초과하지 않은 경우에는 DP0 로 마킹하고, 예약 전송률을 초과할 때는 패킷 폐기 확률이 가장 높은 DP2 로 마킹함으로써 TCP 흐름을 보호할 수 있도록 한다.

DP2 패킷만이 우선적으로 폐기되는 상황을 방지하게 한다. 이러한 중첩된 RED 모델을 적용한 이유는 TCP 흐름에 대한 전송률을 적절히 보호할 수 있고, UDP 흐름에 대해서도 과도한 성능 저하를 막을 수 있도록 하기 위함이다.



(그림 5) RED 파라미터 설정 모델

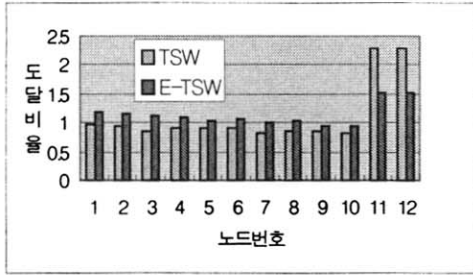
<표 2>는 적절히 배치된 네트워크 상황에서 기존 TSW 알고리즘과 본 논문에서 제안한 트래픽 조절 메커니즘의 성취된 전송률을 비교 분석한 것이다. <표 2>의 결과를 분석하면, 본 논문에서 제안한 마킹 알고리즘을 적용하였을 때 UDP 와 대부분의 TCP 흐름이 자신의 예약 전송률을 달성하고 있으며, UDP 흐름에 의한 TCP 흐름의 성능 저하 현상이 크게 완화되었음을 알 수 있다. 또한 초과하는 대역폭에 대해 비교적 공평히 분배하는 것으로 나타났다. 그러나 TCP 혼잡제어 메커니즘에 기인하여 예약 전송률의 크기에 따른 편향 현상은 여전히 존재한다.

5. 시뮬레이션 및 결과 분석

제안된 마킹 알고리즘을 ns-2 를 통해 구현하고, 3 장에서 수행한 네트워크와 동일한 구조에서 시뮬레이션을 수행하였다. 내부 라우터의 큐 관리 메커니즘은 3-단계 RED를 적용하였고, (그림 5)와 같이 DP1, DP2 의 최대, 최소 임계값이 같은 중첩된 RED 모델을 적용하였다. 즉, DP2 패킷에 대한 파라미터는 10/40/0.25, DP1 은 10/40/0.10, DP0 은 40/70/0.02 으로 각각 설정하였다. DP1, DP2 로 마킹된 패킷에 대한 최대, 최소 임계값은 동일하고, 패킷 폐기 확률값 만을 달리함으로써, 네트워크의 초기 혼잡 상황에서

표 2. 처리율의 비교(27 Mbps)

flow	예약 전송률	성취 전송률(throughput)	
		TSW	Enhanced TSW
1	1	0.96	1.18
2	1	0.95	1.15
3	1.5	1.29	1.69
4	1.5	1.380	1.64
5	2	1.85	2.07
6	2	1.82	2.13
7	2.5	2.03	2.48
8	2.5	2.12	2.57
9	3	2.57	2.84
10	3	2.44	2.87
11	2	4.55	3.04
12	2	4.56	3.07



(그림 6) 도달 비율 비교도

(그림 6)은 두 알고리즘의 각 흐름별 목표 전송율에 대한 성취된 전송율의 도달비율을 나타내었다. 제안한 알고리즘이 기존 TSW 와 비교할 때 TCP 흐름의 도달비율을 크게 향상시킴을 알 수 있다.

<표 3>은 과잉 배치된 네트워크 상황에서 두 가지 트래픽 조절 기법에 대한 성취된 전송율을 나타낸다. 기존 TSW 를 적용한 경우에는 상대적으로 예약 전송율이 높은 TCP 흐름은 예약 전송율을 달성하지 못하고, UDP 흐름은 자신의 목표 전송률보다 훨씬 높은 처리율을 성취함을 알 수 있다.

<표 3> 처리율의 비교(35 Mbps)

flow	예약 전송률	성취 전송률(throughput)	
		TSW	Enhanced TSW
1	1	1.41	1.42
2	1	1.39	1.38
3	1.5	1.74	2.01
4	1.5	1.71	1.94
5	2	2.10	2.50
6	2	2.11	2.44
7	2.5	2.42	3.14
8	2.5	2.52	3.06
9	3	2.89	3.79
10	3	2.70	3.57
11	2	4.92	4.28
12	2	4.91	4.27

그러나 개선된 트래픽 조절 기법을 적용한 경우에는 모든 TCP 흐름이 자신의 목표 전송율에 근접한 전송율을 성취하였다. 또한 UDP 흐름도 자신의 목표 전송률보다 높은 전송율을 성취하였

으나, 기존 방법에 비해 편향성은 크게 완화되었음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 메커니즘이 TCP 와 UDP 흐름에 대해 목표 전송률에 근접한 전송율을 보장하며, 초과된 대역폭의 분배가 비교적 균등하게 이루어짐을 알 수 있다.

<표 4>는 백본 대역폭을 20Mbps 로 설정하여, 네트워크의 혼잡이 발생하는 상황에서의 성취된 전송율을 나타낸다. 기존 TSW 의 경우, TCP 트래픽의 성능 저하가 심각하며, UDP 흐름은 극심한 혼잡 상황에서도 자신의 예약 전송율을 초과하여 달성하는 문제점을 나타낸다. 그러나 개선된 트래픽 조절 기법에서는 UDP 와 TCP 흐름이 각각의 목표 대역폭에 비례해서 성능 저하가 이루어져 기존 방법에 비해 공정성을 크게 향상시킴을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존 TCP 의 변경이 필요하지 않고, 경계 라우터에서 각 흐름의 상태 정보 등을 별도로 관리하지 않으면서도, 세 가지 네트워크 상황에 대해서 UDP 흐름에 따라 TCP 성능 저하 문제를 크게 완화하고, 여분 대역폭에 대해서도 비교적 공정하게 분배함을 알 수 있다.

<표 4> 처리율의 비교(20 Mbps)

flow	예약 전송률	성취 전송률(throughput)	
		TSW	Enhanced TSW
1	1	0.74	0.84
2	1	0.72	0.89
3	1.5	1.12	1.26
4	1.5	1.06	1.35
5	2	1.43	1.73
6	2	1.40	1.72
7	2.5	1.71	2.05
8	2.5	1.75	2.09
9	3	2.14	2.33
10	3	2.05	2.51
11	2	2.92	1.61
12	2	2.92	1.62

6. 결 론

인터넷을 기반으로 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 통신망이 각 서비스별로 차별화 된 서비스 품질을 보장할 수 있어야 한

다. 차별서비스 모델은 일정한 흐름들의 집합으로 분류하여 서비스를 차별적으로 제공한다는 개념으로 확장성이 매우 뛰어나다. 본 논문은 TCP와 UDP 흐름의 공평성 보장을 위해 TSW를 기반으로 하는 개선된 마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 3-color 마킹을 적용하고, 네트워크 혼잡 상황에 대응하는 TCP에 대해서는 확률적 마킹을 수행하고, 혼잡제어 메커니즘을 수행하지 않는 UDP 흐름에 대해서는 절대적 마킹 알고리즘을 적용하였다. 시뮬레이션 방법을 통해 성능을 분석한 결과, 본 논문에서 제안한 방법이 다양한 네트워크의 부하에 대해서도 UDP 흐름에 따라 TCP 성능 저하 문제를 크게 완화하고, 여분 대역폭에 대해서도 비교적 공평하게 분배한 것으로 나타났다. 또한 네트워크의 혼잡이 발생하는 상황에서도 UDP와 TCP 흐름이 각각의 목표 대역폭에 비례해서 성능 저하가 이루어져 기존 방법에 비해 공평성을 크게 향상시킬 수 있다. 향후 다양한 네트워크 구조 및 트래픽 소스에 대한 성능 평가, 서로 다른 RTT 값을 갖는 환경에 대해서도 평가가 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] S. Blake, et al.(1998), An Architecture for Differentiated Services, Internet RFC 2475.
 [2] D. Clark and W. Fang(1998), "Explicit Allocation of Best effort Packet Delivery Service", ACM Transactions on Networking.
 [3] I. Yeom and N. Reddy(1999), "Impact of marking strategy on aggregated flows in a DiffServ network", IEEE ICMCS '99.
 [4] N. Seddigh, et al.(1999), "Bandwidth Assurance Issues for TCP flows in a Differentiated Services Network", Globecom '99.
 [5] Network simulator (1997), University of California at Berkeley, CA.
 [6] P. Peda, et al.(1999), "The Dynamics of TCO and UDP interaction in IP QoS Differentiated Services Networks", The 3rd Canadian Conference on Broadband Research.

[7] V. Jacobson, et al.(1999), An Expedited Forwarding PHB, Internet RFC 2598.
 [8] J. Heinanen, et al.(1999), Assured Forwarding PHB Group Internet RFC 2597.
 [9] Y. Bernet., et al.(2000), A Conceptual Model for DiffServ Routers, IETF Internet Draft, draft-ietf-diffserv-model-02.txt.
 [10] J. Ibanez and K. Nichols(1998), Preliminary Simulation Evaluation of an Assured Service, IETF Internet Draft.
 [11] J. Heinanen, T. Finland and R. Guerin(1999), A Single Rate Three Color Marker, IETF Internet Draft.
 [12] W. Lin, R.Zheng and J. Hou(1999), "How to Make Assured Services More Assured", ICNP '99.
 [13] I. Yeom and N. Reddy(1999), "Realizing Throughput Guarantees in a Differentiated Services Network", ICMCS, Florence, Italy.

이성근



1985 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1987 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1995 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1987~1992 삼성전자정보통신연구소

1996~1997 삼성전자 네트워크개발팀

1997~현재 순천대학교 정보통신공학부 부교수
 관심분야: 멀티미디어 통신, 인터넷 QoS, WBI

E-Mail: sklee@sunchon.ac.kr