

DiffServ 네트워크에서 비디오 스트리밍을 위한 적응적 트래픽 마커 알고리즘 연구

정회원 정영하*, 준회원 강영욱*, 종신회원 최윤식*

A Video Streaming Adaptive Packet Pre-marker in DiffServ Networks

Young H. Jung* *Regular Member*, Young Wook Kang* *Associate Member*,
Yoonsik Choe* *Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 DiffServ 네트워크에서 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 보장하기 위한 적용방법의 하나로서 채널변화에 적응적인 패킷 사전 마킹 알고리즘을 제시하였다. 전통적인 패킷 마커들이나 기존에 제안된 TMS(Two Marker System, ETBTCM)은 다수의 비디오 소스가 존재하는 네트워크 상황에서는 혼잡현상 발생 시 패킷내에 포함된 비디오 정보의 중요도에 대한 고려 없이 패킷이 드롭되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 적응적 사전마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘에서는 네트워크의 채널상태와 GOP내에서의 전송 프레임의 중요도를 고려하여 확률적으로 패킷 드롭 우선순위를 결정하여 이를 서버 단에서 사전에 마킹하게 된다. 이를 통하여 다수의 비디오 트래픽간의 경쟁이 발생한 상황에서도 화질 저하를 최소화 되도록 할 수 있다.

Key Words : DiffServ QoS, 비디오 스트리밍, 트래픽 마커

ABSTRACT

We propose an effective packet marking algorithm for video streaming in DiffServ network. Because legacy packet markers such as srTCM(single rate three color marker) cannot distinguish the importance of packet, these markers can cause quality degradation of streaming during the network congestion period. Recently proposed TMS (Two Marker System) [4] shows effectiveness in such scenario that video streaming service is struggling with other types of service traffic. However, if many video streaming services co-exist in DiffServ network and result in competition among themselves, then both legacy packet markers and even TMS cannot prevent drastic streaming quality degradation. To cope with this, we suggest A-TCPM (Adaptive time sliding window Three Color Marker) algorithm. In this algorithm, an A-TCPM module decides the color of a packet based upon the probability which is lead by current channel status and frame importance ratio. Simulation results show that proposed A-TCPM algorithm can enhance streaming service quality especially when overbooked video streaming sessions struggle with themselves.

I. 서론

최근 들어 인터넷상으로 비디오 스트리밍 서비스

를 이용하는 사용자가 증가하고 고화질 비디오 전송에 대한 요구가 커짐에 따라 제한된 네트워크 자원을 이용하여 보다 높은 품질의 비디오 스트리밍

※ 본 연구는 산업자원부 및 전자부품연구원의 지원으로 수행되었음 (2007-8-1213)

* 연세대학교 전기전자 공학과 영상정보 연구실 ({crosscom, nanwook, yschoe}@yonsei.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-10-477, 접수일자 : 2007년 10월 17일, 최종논문접수일자 : 2007년 11월 15일

서비스를 지원할 수 있는 기술들에 대한 연구가 중요하게 여겨지고 있다. 이러한 관점에서, 고품질의 비디오 스트리밍 서비스를 위하여 네트워크 기술의 측면에서는 인터넷 QoS (Quality-of-Service)를 효과적으로 적용하는 방안에 대한 관심이 계속되고 있다.

최선형 (best-effort) 서비스를 지향하는 인터넷상에서 QoS를 제공하기 위한 기술로서 IntServ^[1] (Integrated Service), DiffServ^[2] (Differentiated Service) 등의 인터넷 QoS 방식을 들 수 있다. IntServ는 개별 플로우에 대한 QoS를 지원하기 위하여 모든 경로 라우터에서 플로우마다 자원 예약을 해야 하고 이와 관련된 상태 정보를 유지해야 한다. 이러한 점에서 IntServ는 네트워크 스케일이 커질 경우 도입이 어려워지는 문제가 있다. 이에 반하여 DiffServ QoS는 IntServ와 달리 RSVP (resource reservation protocol)와 같은 추가적인 시그널링이 사용되지 않고 코어 라우터에서 DiffServ QoS에 필요한 동작들(PHB: Per-Hop Behaviour)을 QoS 클래스별로 집합하여 수행하기 때문에 스케일러블하고 도입하기 쉬운 장점이 있다. 따라서 실제로 대규모 사용자가 이용하는 서비스를 위해 DiffServ 네트워크 구조를 설계하고 이를 적절히 프로비저닝 하여 각 서비스별 QoS 요구사항을 만족시키기 위한 적용 알고리즘에 대한 관심이 높아지고 있다.

DiffServ 네트워크에서 효율적인 비디오 스트리밍을 위하여 Jitae 등은 [3]에서 인코딩된 비디오 데이터를 패킷화 한 후 각 패킷별 정보의 RPI (Relative Priority Index)를 통하여 DiffServ QoS의 서로 다른 클래스로 매핑하는 방안을 제안하였다. 각 패킷에 포함된 정보의 손실, 지연 등에 따른 중요도를 QoS 클래스 매핑에 반영하였기 때문에, 네트워크에서 혼잡이 발생하였을 경우, 클래스 우선순위에 따라 중요도가 높은 패킷들이 우선적으로 스케줄링되고 상대적으로 덜 드롭되기 때문에 발생하는 화질 열화가 최소화 될 수 있도록 하였다. [3]에서 제안된 알고리즘은 비디오 데이터를 적절히 서로 다른 QoS 클래스에 매핑하는 기준으로서 화질 열화를 최소화하도록 하는 선도적인 비전을 제시하였지만, DiffServ 네트워크의 SLA (Service Level Agreement)상 각 어플리케이션 별로 하나의 서비스 클래스만을 쓰도록 구분이 될 경우 해당 알고리즘을 바로 적용하기 어려울 수 있다. 또한 [4]의 논문에서 Ke등이 지적한 바와 같이 DiffServ 네트워크를 사용하는 종단에서 QoS 클래스 매핑이 적절히

이루어진 경우라도, 에지라우터에서 기존에 사용되는 SrTCM (single rate three color marker), TrTCM (two rate three color marker)와 같은 트래픽 폴리서를 (traffic policer) 사용할 경우 패킷에 포함된 정보의 중요도와 관계없이 드롭 우선순위가 (drop precedence) 결정되는 문제점이 있다.

이러한 문제점으로 인해서 Ke등은 [4]에서 TMS (Two Marker System)을 제안하였다. TMS에서는 비디오 스트리밍 서버 단에 소스마커 (source marker)를 도입하고 에지라우터 단에 ETBTCM (Enhanced Token Bucket Marker)를 위치시켰다. 즉, 소스 마커에서는 I, P 프레임에 해당하는 패킷들에 중요도 (importance) 마킹을 수행하고 에지 라우터의 ETBTCM에서는 패킷내의 중요도 필드 마킹여부와 유입플로우의 적합성 테스트 결과에 따라 드롭 우선순위를 결정하도록 하였다. 이를 통하여, 비디오 트래픽과 다른 어플리케이션 트래픽이 공존하여 네트워크 혼잡이 발생할 경우 기존의 트래픽 폴리서와 패킷 마커들이 갖고 있는 문제점을 해결하였다. 그러나 다수의 비디오 스트리밍 연결이 존재하는 상황에서 비디오 트래픽들 간의 경쟁이 발생할 경우 네트워크 혼잡에 의한 스트리밍 품질 저하를 방지하기 어려운 단점이 여전히 존재한다. 즉, DiffServ 에지 라우터들에 연결된 각각의 비디오 어플리케이션 단말들이 모두 적합성 조사 (conformance test)를 통과하여 대부분의 패킷들이 모두 가장 낮은 드롭 우선순위(Green)를 부여받았을 경우 DiffServ 네트워크의 내부에서 혼잡이 발생하면 각 패킷들마다 모두 같은 드롭 우선순위를 부여 받았기 때문에 I 프레임에 대한 정보와 같이 상대적으로 중요한 정보를 포함하는 패킷들 또한 동일한 확률로 드롭되어 비디오 스트리밍의 품질이 급격히 떨어질 수 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 단말에서 패킷의 비디오 데이터에 대한 중요도와 네트워크의 혼잡도에 따라 드롭 우선순위를 적응적으로 사전마킹 (pre-marking)하는 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘 하에서 비디오 스트리밍 클라이언트는 스트리밍 서비스 도중 주기적으로 RTP (Real-time Transport Control Protocol)등을 이용하여 패킷수신, 손실 정보를 서버 단에 전송해주고, 서버는 비디오 스트리밍 데이터를 전송할 때 A-TCPM (Adaptive time sliding window Three Color Pre-Marker) 알고리즘을 통해 각 패킷의 DSCP (DiffServ Code Point) 마킹을 수행한다. 제안된 A-TCPM 알고리즘은 매 GOP (Group of Picture)

단위로 수행되고 플로우 대역폭의 적합성 테스트 시 기준 레이트를 해당 GOP의 평균 대역폭과 현재 채널의 상태를 반영하여 산정하고, 이러한 기준 레이트를 초과하는 패킷들에 대해서는 기준 레이트 초과 비율과 패킷이 포함하고 있는 영상데이터의 중요도율 (importance probability)에 따라 확률적으로 드롭 우선순위가 결정된다. 따라서 제안방식을 통하여, 비디오 스트리밍 서버는 현재 채널 상태와 GOP내에서 각 프레임들의 중요도를 고려하여 사전 마킹을 수행할 수가 있고 이로 인해 DiffServ 네트워크의 코어망에서 혼잡상황이 발생하여도 GOP내에서 상대적으로 중요도가 낮은 패킷들이 먼저 드롭되고 중요도가 높은 패킷들을 보호되는 효과가 발생하기 때문에 스트리밍 품질 열화를 줄일 수 있게 된다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. II장에서는 DiffServ 네트워크 내에서 비디오 스트리밍 서비스를 수행할 때 망구조와 각 노드별 역할, 그리고 서비스 시나리오에 대해서 살펴보도록 한다. 이어서 III장에서는 제안된 적응적 사전 마킹 알고리즘 (Adaptive TSTCPM: Adaptive Time Sliding Three Color Pre-Marker)에 대해서 구체적으로 설명하고자 한다. IV장의 네트워크 시뮬레이터 기반의 시뮬레이션 결과를 통해 제안알고리즘의 성능을 검증하고, V장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. 서비스 모델 및 망구조

그림 1은 일반적인 DiffServ 네트워크의 노드 구성을 나타내고 있다. DiffServ 네트워크의 에지 라우터는 각 플로우별로 유입 대역폭에 대한 적합성 조사를 통해 패킷 마킹을 수행한다. srTCM이나 trTCM과 같은 3가지 컬러를 사용하는 마커의 경우 그림 1에서와 같이 적합성조사 결과에 따라 각 패킷마다 그린, 옐로우, 레드로의 마킹이 이루어진다. DiffServ 네트워크의 내부 즉, 코어 라우터에서는 RED (Random Early Detection), RIO (RED with In and Out)와 같이 라우터의 버퍼가 모두 차기 전에 사전에 패킷 드롭을 수행하는 PHB가 설정되어 있다고 가정한다. 이렇게 되면 각 드롭 우선순위로 드롭 확률이 차등적으로 적용되기 때문에 혼잡 상황에서 높은 드롭 우선순위의 패킷이 상대적으로 많이 드롭된다.

본 논문에서는 DiffServ 네트워크의 SLA상 비디오 스트리밍 서버에서 비디오 어플리케이션 패킷에 대한 QoS 클래스의 매핑은 하나의 클래스로 이루어

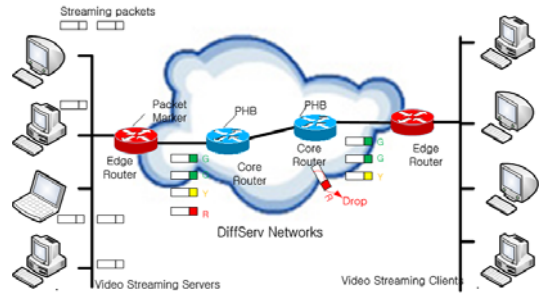


그림 1. DiffServ 네트워크 구조

어진다고 가정하였다. 또 DiffServ 네트워크를 사용하는 다수의 비디오 스트리밍 서버-클라이언트 연결이 동시에 설정되어 비디오 트래픽만으로 네트워크 혼잡이 유발되는 상황을 가정하였다.

III. 기존의 패킷 마커 시스템

3.1 Single/Two rate Three Color Marker (srTCM/trTCM) ^{(5) (6)}

[5][6]에서 정의된 것과 같이 srTCM과 trTCM은 IP 패킷 스트림의 대역폭을 측정(meter)한 후 측정된 대역폭 레벨에 따라 그린(Green), 옐로우(Yellow), 레드(Red)의 3가지 컬러로 마킹을 한다. 마킹은 CIR (Committed Information Rate), PIR (Peak Information Rate: trTCM의 경우에만), CBS (Committed Burst Size), EBS (Excess Burst Size) 등을 사용하여 이루어진다. 컬러가 결정된 이후에는 PHB에서 약속된 방식으로 IP 헤더의 DS필드에 해당 컬러가 표시된다^[8]. 한편 srTCM과 trTCM은 IP 헤더에 사전에 마킹된 컬러를 인식하고 사용하는 여부에 따라 “color-blind” 모드와 “color-aware” 모드로 나누어지는데, 이러한 모드 설정과 CIR, PIR, CBS, PBS 등의 파라미터 값들은 서비스 시나리오에 따라 사전에 프로비저닝 된다. 그림 2는 trTCM의 일반적인 알고리즘을 의사코드 형태로 나타내고 있다. 그림 2에서 B는 현재 들어온 패킷의 크기(바이트)를 의미하며, Tp(t)와 Tc(t)는 피크 버킷(peak bucket)과 허용 버킷(committed bucket)의 현재 토큰수를 의미하는데 이들 값은 PIR, CIR 등을 통해 업데이트된다.

srTCM이나 trTCM 등의 기존의 트래픽 마커들을 이용하여 비디오 스트리밍을 수행할 경우 설정된 CIR을 기준으로 드롭우선순위에 대한 컬러를 정하

```

if (Tp(t)-B < 0)
  the packet is RED;
else
  if (Tc(t)-B < 0)
    the packet is YELLOW and Tp(t) -= B;
  else
    the packet is GREEN;
    Tp(t) -= B; Tc(t) -= B;
    
```

그림 2. rTCM의 의사코드

기 때문에 각 패킷이 포함하고 있는 정보의 중요도는 고려되지 못하게 된다.

3.2 Enhanced Token Bucket Three Color Marker (ETBTCM)⁽⁴⁾

트래픽 마커에서 패킷별 중요도를 고려하지 못하여 비디오 스트리밍 품질저하가 발생하는 단점을 극복하기 위하여 Ke등은 [4]에서 TMS 를 제안하였다. TMS에서는 그림 3에서의 구성과 같이 소스마커와 ETBTCM (Enhanced Token Bucket Three Color Marker)를 스트리밍 서버와 DiffServ 네트워크의 에지 라우터에 각각 위치시킴으로서, 에지라우터에서 트래픽 적합성 조사를 할 때 그림 4의 알고

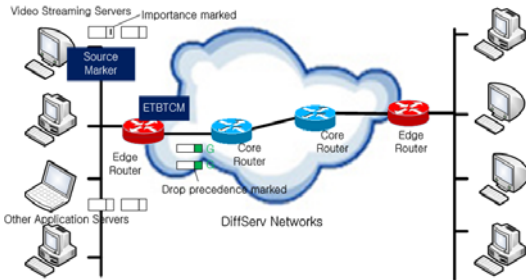


그림 3. TMS (ETBTCM) [4] 네트워크 구조

```

if (Tc(t)-B >= 0)
  the packet is GREEN;
else
  if the significance bit is set (I or P frame?)
    if (counter-B >= 0)
      counter -= B;
      the packet is YELLOW;
    else
      counter += B;
      the packet is RED;
  else
    counter = counter + 2*B;
    the packet is RED;
    
```

그림 4. ETBTCM의 의사코드

리즘을 통해 패킷이 포함하고 있는 영상정보의 영향을 반영하도록 하였다.

그러나 TMS^[4]를 사용하여 소스 마커에서 I, P 프레임에 대해 패킷에 중요 비트 (importance bit) 를 마킹했을 지라도 에지 라우터에서는 인입 플로우별 대역폭과 CIR을 기준으로 적합성 조사를 하기 때문에 비디오 데이터의 대역폭이 CIR을 초과하지 않을 경우 I, B, P 프레임에 대한 패킷들이 모두 가장 낮은 드롭 우선순위(Green)로 마킹이 된다. 그렇기 때문에 2장에서 가정한 서비스 시나리오와 같이 DiffServ 네트워크 내에 이러한 비디오 연결이 점점 많아져서 비디오 트래픽간의 경쟁이 발생할 경우 중요도를 반영한 패킷 드롭을 수행할 수 없게 되고 이는 심각한 스트리밍 품질 저하를 초래하게 된다.

IV. Adaptive Time Sliding Window Three Color Pre-Marker

비디오 스트리밍 연결이 다수 존재하는 DiffServ 네트워크에서 비디오 트래픽간의 경쟁이 발생할 경우 이를 반영한 패킷 마킹을 하기 위하여 본 논문에서는 적응적 사전 마커 알고리즘을 제안하였다.

4.1 프레임 중요도 비율

본 절에서는 적응적 사전 마킹 알고리즘에 적용하기 위한 각 패킷별 중요도 비율을 산정하는 방법에 관해서 논하고자 한다. MPEG-2, MPEG-4 혹은 H.263, H.264AVC와 같은 비디오 인코딩 방식에서는 시간적 중복성을 제거하기 위하여 움직임 예측 (motion estimation)을 사용하고 이로 인해 그림 5와 같이 인코딩된 각 프레임 간 의존성이 생기게 된다. 이러한 프레임 간 의존성은 에러 발생 시 에러전파 효과로 인해 화질 열화가 연속적으로 발생하기 때문에 Setton등이 [9]에서 지적한 바와 같이 프레임 간 의존성을 각 프레임이 갖고 있는 중요도로 간주할 수 있다. 이러한 에러 전파 효과는 리싱크 마크 (resync mark)등이 삽입된 I 프레임으로 인해 중단될 수 있기 때문에 한 GOP를 단위로 각 프레임간의 의존성을 중요도로 산출하여 사용하였다. 프레임 간 의존도를 고려한 한 프레임에 대한 중요도는 다음의 식 1과 같이 결정된다.

$$I(n) = F(\text{frame}_{\text{type}}, \text{frame}_{\text{order}}) \quad (1)$$

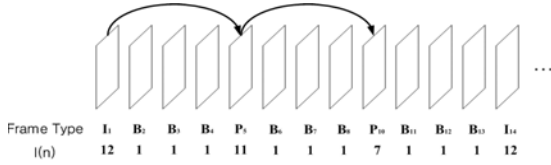


그림 5. 프레임 간 의존성과 중요도

식(1)과 같은 프레임에 대한 중요도 값을 한 GOP내에서의 프레임별 중요도 비율로 표현하면 다음의 식 2와 같다.

$$P_i(n) = \frac{I(n)}{\arg \max_{k \in GOP} (I(k))} \quad (2)$$

본 논문에서 제안된 적응적 사전 마커 알고리즘에서는 각 패킷별 중요도를 마킹시 반영하기 위하여 식 (2)와 같은 GOP내에서의 중요도 비율을 사용하였다. 이를 통하여 GOP내에서 상대적으로 프레임 의존도가 높은 패킷들이 네트워크 혼잡 상황에서도 낮은 드롭 우선순위를 부여 받을 수 있게 조정된다.

4.2 적응적 타겟 대역폭

GOP내에서 중요도 비율을 패킷 마킹 수행 시 효율적으로 반영하기 위하여 본 제안 알고리즘에서는 적응적 타겟 대역폭 (ATR: Adaptive Target Rate)을 사용하였다. 즉, 한 GOP의 전송 시 필요한 평균 대역폭을 토큰버킷 마커에서의 토큰레이트와 같은 개념으로 사용하여 식 3과 같이 GOP 단위로 마킹의 기준 레이트를 재설정하도록 하였다. 식 (3)에서 B_k 는 각 프레임의 크기를 나타내며, $t_{first_frame_time}$ 과 $t_{last_frame_time}$ 은 현재 전송중인 GOP의 처음 프레임의 프레임 시간과 마지막 프레임의 프레임 시간을 각각 나타낸다.

$$AvgRate(t) = \frac{\sum_{k \in GOP_{current}} B_k}{t_{last_frame_time} - t_{first_frame_time}} \quad (3)$$

기존의 마커들과 TMS[4]는 정해진 CIR, CBS 등의 값과 현재 유입되는 플로우의 대역폭을 통해 패킷들에 드롭 우선순위가 부여되기 때문에 현재 네트워크의 상태를 반영하기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 제안된 마커 알고리즘에서는 비디오 스트리밍 클라이언트로부터 피드백

되어 수신되는 패킷 손실률을 식 4와 같이 적응적 타겟 레이트 설정 시 반영하였다. 이를 통하여 네트워크의 혼잡 정도가 드롭 우선순위 결정시에 반영되도록 하였다. 이를 반영한 기준 레이트를 적응적 타겟 대역폭(ATR)이라 하고 식 (4)와 같이 계산된다.

$$ATR(t) = (1 - P_L(t)) \times AvgRate(t) \quad (4)$$

식 (4)에서 $PL(t)$ 는 채널의 손실률을 의미하며, 매 피드백 패킷 수신시마다 갱신되어 현재 네트워크 채널의 혼잡 상태를 반영할 수 있도록 하였다.

4.3 Time Sliding Three Color Pre-Markers

본 제안 알고리즘에서는 패킷 마킹 시 네트워크 상태 및 패킷의 중요도를 확률적으로 반영하기 위하여 tswTCM(Time Sliding Window Three Color Marker)[7]을 비디오 스트리밍 서버 어플리케이션의 특성이 반영 되도록 수정하였다. 본 제안알고리즘의 마커는 기존의 마커들과 달리 트래픽 소스에서 수행되기 때문에 TCPM(time sliding window Three Color Pre-Marker)으로 표현하였다. [7]의 tswTCM과 같이 패킷 마킹을 위해 식 5의 이동평균(moving average)을 사용하여 현재 소스로부터의 전송 레이트를 추정한다.

$$EstRate(t) = (1 - \alpha) \cdot InstRate(t) + \alpha \cdot EstRate(t - 1) \quad (5)$$

위의 식에서 $EstRate(t)$ 는 현재 전송할 프레임 타임인 t 시간에서의 추정된 평균 대역폭(estimated rate)을 의미하며, $InstRate(t)$ 은 해당 시간에서의 측정 대역폭(instantaneous rate)을 의미하며 α 는 이동평균 파라미터를 나타낸다.

패킷 마킹을 수행할 시점에서 $EstRate(t)$ 가 식 (4)의 $ATR(t)$ 보다 작거나 같으면, 모든 패킷들은 그린으로 마킹이 되고, 그렇지 않으면 식 (6)의 P_1, P_2, P_3 등의 확률로 각각 그린, 옐로우, 레드로 마킹이 된다.

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{EstRate(t) - ATR(t)}{EstRate(t)} \\ P_1 &= (1 - P_0) \\ P_2 &= P_0 \times P_i(n) \\ P_3 &= P_0 \times (1 - P_i(n)) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 추정된 이동평균이 네트워크 혼잡상태를 반영한 적응적 타겟 레이트를 넘어서게 되면,

```

Calculate EstRate(t);
if (EstRate(t) <= ATR(t))
    the packet is GREEN ;
else
    calculate P0 = (EstRate(t) - ATR(t))/EstRate(t)
    calculate P1 = (1-P0)
    calculate P2 = (P0*Pi)
    calculate P3 = (P0*(1-Pi))
    with probability P1,
        the packet is GREEN;
    with probability P2,
        the packet is YELLOW;
    with probability P3,
        the packet is RED;
    
```

그림 6. 제안된 A-TCPM의 의사코드

tswTCM에서와 같이 타겟 레이트를 넘어선 대역폭의 비율을 확률로 하여 드롭우선순위의 다운그레이드가 결정되고, 다운그레이드가 수행되게 되면 그 다음에는 프레임의 중요도에 따른 확률로 두 번째 다운그레이드가 수행된다. 이를 통해 네트워크의 혼잡도와 패킷이 포함하는 정보의 중요도가 패킷 마킹에 반영될 수 있게 된다. 그림 6은 제안 알고리즘의 간단한 의사코드를 나타낸다.

V. 실험결과

본 장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 제안 알고리즘의 성능을 검증하고자 한다. 제안 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 NS-2 시뮬레이터[10]를 사용하였고 이에 사용된 네트워크 토폴로지는 그림 7과 같다.

MPEG-4 인코더의 일정화질 보장 옵션을 사용하여 초당 30프레임의 VBR (Variable Bitrate) 비트 스트림으로 인코딩하여 실험에 사용하였다. 인코딩된 비디오 스트리밍 소스의 평균 대역폭은 2.2 Mbps 이며 최고 대역폭은 3.2 Mbps로 측정되었다. 또한 그림 5에서와 같이 B 프레임은 3개씩 삽입되도록 하였으며 GOP의 크기는 20 프레임으로 설정하여 패킷 손실의 전파가 20 프레임이상 진행되지

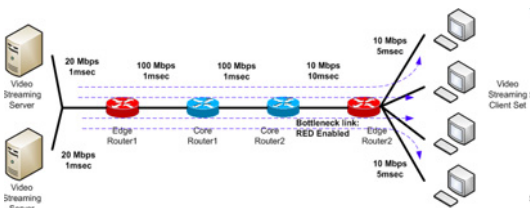


그림 7. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

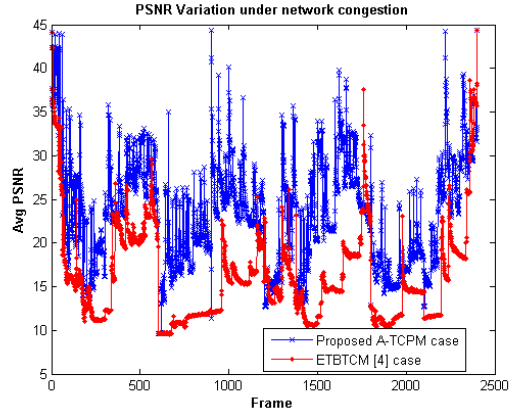


그림 8. PSNR 변화 비교 (3개의 비디오 스트리밍 세션)

않도록 하였다. 한편, 비디오 디코더에서는 손실된 패킷들에 해당하는 블록이나 프레임에 대해서 이전 프레임에서 화소값을 가져오는 시간적 복구 방법의 오류 은닉기법을 적용하였다.

네트워크 혼잡 상황을 시뮬레이션 하기 위해서 그림 7에서 보이는 것과 같이 코어라우터2와 에지라우터2사이에 임의로 병목구간을 만들어서 비디오 세션수가 증가할수록 패킷의 드롭이 많아지도록 유도하였고 해당 링크구간에서는 RED를 사용하여 드롭 우선순위별로 사전드롭 (early drop)과 링크 드롭 (queue excess drop)이 일어날 수 있도록 설정하였다. 이러한 환경 하에 제안방식의 성능을 평가하기 위하여 [4]에서 제안된 TMS/ETBTM 방식과 제안된 방식의 두 가지 시스템을 동일한 시나리오 상에서 시뮬레이션 하여 결과를 비교하였다.

그림 8은 비디오 스트리밍 세션이 3개일 때 병목구간에 의한 네트워크 혼잡 발생시 PSNR 변화를 나타낸다. 서비스 중인 비디오 트래픽의 대역폭이 병목구간의 대역폭을 초과하여 비디오 스트리밍 패킷의 손실이 발생할 수밖에 없는 상황에서 제안된 적응적 TCPM (A-TCPM)을 사용할 경우 네트워크 혼잡상황을 비디오 스트리밍 서버가 피드백 채널을 통하여 인지하여 이에 따라 사전마킹을 조절하기 때문에 상대적으로 I 프레임과 같이 중요한 프레임들이 보호를 받을 수 있다. 이로 인해 기존방식에 비하여 상대적으로 높은 PSNR을 보임을 확인할 수 있다. 즉, 제안된 방식은 동일 서비스 시나리오 상에서 기존의 TMS/ETBTM 방식보다 I 프레임 손실 보호 효과로 인해 평균 6dB 이상의 스트리밍 품질 개선효과가 있음을 확인할 수 있다.

해당 시나리오에서 혼잡구간인 코어라우터2와 에

표 1. 병목링크구간의 버퍼 통계

CP	Total Pkts	TxPkts	Ldrops (link excess drop)	Edrops (Early drop)
ETBTCM [4] case	10 72339	52958	16989	2392
Proposed ATCPM case	10 57831	51456	5441	934
All	72339	52958	16989	2392

표 2. 각 프레임별 패킷 손실률

	I(H)	P	B
ETBTCM [4]	85.73 %	67.6 %	51.53 %
Proposed ATCPM	51.8 %	52.3 %	49.7 %



(a) 원영상 (1243, 1248, 1256, 1326번째 프레임)



(b) ETBTCM이 사용된 네트워크에서의 클라이언트 수신 영상 (a)와 동일 프레임)



(c) A-TCPM이 사용된 네트워크에서의 클라이언트 수신 영상 (a)와 동일 프레임)

그림 9. 디코딩 영상의 주관적 화질

지라우터2 사이의 버퍼 통계를 살펴보면 다음의 표 1과 같다. 표 1에서 나타난 바와 같이 전체 패킷 손실 수는 제안방식이 많을 지라도 AF10으로 마킹한 패킷들의 손실률을 비교해 볼 때 제안방식의 손실률이 기존의 30% 밖에 되지 않고 표 2의 각 프레임 타입별 패킷 손실률에서 확인할 수 있듯이 I, P 프레임의 손실률이 기존의 방식보다 적기 때문에 그림 10과 같이 기존방식 대비 높은 PSNR을 네트워크 혼잡 상황에서도 얻을 수 있다.

제안방식은 비디오 정보를 담고 있는 패킷의 중요도를 기반으로 드롭 우선순위를 정하였기 때문에 앞서 결과에서 살펴본 바와 같이 I 프레임과 같이 중요한 프레임들을 혼잡상황에서 기존의 방식보다 더 잘 보호할 수 있다. 이러한 중요 프레임 보호 효과는 주관적 비디오 스트리밍 품질에 있어서도 많은 영향을 주게 된다. 즉, 그림 9에서와 같이 비디오 스트리밍 도중 장면 전환이 일어나는 경우 I 프레임의 보호 정도에 따라 복원된 영상의 화질 차

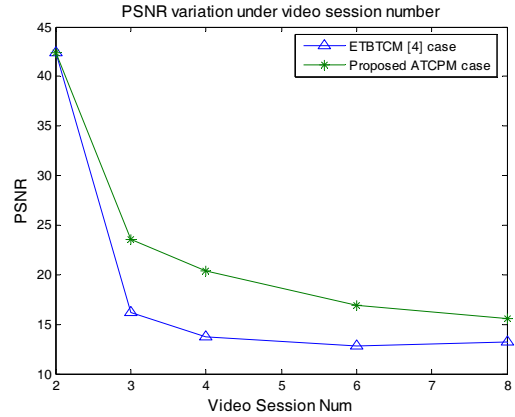


그림 10. 비디오 세션 수 변화에 따른 평균 PSNR 변화

이가 분명하게 나타나게 되는 것을 볼 수 있다.

그림 10에는 비디오 세션수가 증가에 따라서 세션들이 경험하게 되는 디코딩 영상의 평균 PSNR이 나타나있다. 병목구간의 대역폭이 비디오 스트리밍 대역폭을 모두 수용할 수 있는 상황(세션수가 2 일 때)에서는 두 시스템 모두 같은 성능을 보이지만 세션수가 증가하면 제안방식의 스트리밍 품질이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 특히, 네트워크의 병목구간의 110~140%로 스트리밍 대역폭이 오버부킹된 혼잡상황에서는 기존 TMS/ETBTCM[4] 방식에 비해 제안방식이 6~7dB 이상 좋은 평균화질을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 DiffServ 네트워크상에서 비디오 전송 시 기존의 트래픽 마커들이 갖고 있는 문제점을 해결하기 위하여 적응적 사전 마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 클라이언트로부터 전달받은 피드백 정보를 토대로 네트워크의 혼잡도와 비디오 데이터의 코딩 특성에 따른 패킷별 중요도를 확률적으로 반영하여 드롭 우선순위를 사전에 마킹함으로써 코어 네트워크에서 혼잡이 발생하더라도 스트리밍 유저가 체감하게 되는 품질 저하가 기존의 방식들에 비해 줄어 들 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과에서 확인한 바와 같이 제안 방식은 동일 네트워크를 사용하는 비디오 세션수의 대역폭 점유율이 병목구간 대역폭의 100~150% 사이로 증가하였을 경우 기존의 시스템에 비해 6dB 이상의 스트리밍 품질 개선이 가능하였다. 특히 장면전환이 많이 일어나는 비디오 스트리밍의 경우 제안 시스

템이 ETBTM 방식에 비해 I 프레임의 더 잘 보호할 수 있기 때문에 즉각적인 장면전환이 가능하고 이로 인해 주관적인 스트리밍 품질이 좋아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안된 방식은 DiffServ 네트워크의 구조를 최대한 활용한 상태에서 비디오 스트리밍 유저에게 QoS를 제공하기 위한 방안으로 백본 네트워크의 추가 구성이나 수정 없이 비디오 스트리밍 서버 어플리케이션에서의 도입만으로 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다.

참고 문헌

[1] R. Braden, L. Zang, S. Berson, S. Herzong and S. Jaming, "Resource Reservation Protocol (RSVP) - version 1 functional specification", *RFC2205*, Sept, 1997.

[2] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", *RFC2475*, Dec, 1998

[3] Jitae Shin, Jongwon Kim, and C. C. Jay Kuo, "Quality-of-Service Mapping Mechanism for Packet Video in Differentiated Services Network", *IEEE Trans. On Multimedia*, Vol.3, No.2, pp.381-383, June 2001.

[4] C. Ke, C. Shi도, W. Hwang, and A. Ziviani, "A Two Markers System for Improved MPEG Video Delivery in a DiffServ Network", *IEEE Communication Letters*, Vol 9, No.4, pp.381-383, April 2005

[5] J. Heinanen, T. Finland, and R. Guerin, "A Single Rate Three Color Marker", *RF2679*, September 1999

[6] J. Heinanen, T. Finland, and R. Guerin, "A Two Rate Three Color Marker", *RFC2698*, September 1999

[7] W. Fang, and N. Seddigh, "A Time Sliding Windwo Three Color Marker", *RFC2859*, June 2000

[8] K. Nichold, S. Blake, F. Baker, and D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Filed) in the IPv4 and IPv6 Headers", *RFC2474*, December 1998

[9] E. Setton, J. Noh, and B. Girod, "Congestion-Distortion Optimized Peer-to-Peer Video Streaming", in the *Proc. IEEE ICIP'06*, pp 721-724, October 2006

[10] ns-2 Network Simulator, available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, (2007).

정 영 하 (Young H. Jung)

정회원



1997년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업
 1999년 2월 연세대학교 전기공학과(석사)
 2000년 3월~현재 삼성전자 네트워크 사업부 책임연구원
 2006년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과(박사과정)

<관심분야> Video Communication, 3GPP Network

강 영 욱 (Young Wook Kang)

준회원



2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업
 2007년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
 <관심분야> 영상코딩, H.264/AVC, 영상통신

최 윤 식 (Yoonsik Choe)

중심회원



1979년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업
 1987년 5월 펜실베니아 주립대 전기공학 M.S.
 1990년 2월 Purdue 대학 전기공학 Ph.D
 1993년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수

<관심분야> 영상신호처리, 영상코딩, 멀티미디어 통신 등