

미디어 특성과 네트워크 상태에 적응적인 스케일러블 비디오 스트리밍 기법에 관한 연구

정회원 정영하*, 강영욱**, 종신회원 최윤식**

Media-aware and Quality-guaranteed Rate Adaptation Algorithm for Scalable Video Streaming

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

요 약

인터넷을 통하여 다른 서비스에 비해 상대적으로 많은 대역폭을 필요로 하는 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 경우, 다른 플로우들과의 형평성을 제공하면서 비디오 서비스의 품질을 보장해야한다. 이를 위하여 본 논문에서는 스케일러블 비디오 압축 스트림에 대한 멀티채널 TCP-friendly 스트리밍 기법을 제안하였다. 제안 구조는 스케일러블 비디오 코딩으로 압축된 비디오 정보를 기본계층(baseline layer)은 TCP를 이용하여 손실 없이 전송하고 상위계층(enhancement layer)은 TFRC (TCP friendly rate control)을 이용하여 전송하도록 하였다. 이때, TFRC로 전송되는 상위계층 레이어에 대한 전송률은 수신측 재생버퍼의 상태와 전송 미디어의 계층별 부호화율을 고려하여 적응적으로 결정되도록 제안하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여, 이러한 적응적 전송률 제어를 통하여 제안 스트리밍 방식이 기존 방식에 비해 네트워크 상황변화에 신속히 적응하고 혼잡상황에서도 일정수준의 서비스 품질을 보장함을 확인 할 수 있다.

Key Words : Scalable Video, 품질 보장형 비디오 스트리밍

ABSTRACT

We propose a quality guaranteed scalable video streaming service over the Internet using a new rate adaptation algorithm. Because video data requires much more bandwidth rather than other types of service, therefore, quality of video streaming service should be guaranteed while providing friendliness with other service flows over the Internet. To successfully provide this, we propose a framework for providing quality-guaranteed streaming service using two-channel transport layer and rate adaptation of scalable video stream. In this framework, baseline layer for scalable video is transmitted using TCP transport for minimum quality service. Enhancement layers are delivered using TFRC transport with layer adaptation algorithm. The proposed framework jointly uses the status of playout buffer in the client and the encoding rate of layers in media contents. Therefore, the proposed algorithm can remarkably guarantee minimum quality of streaming service rather than conventional approaches regardless of network congestion and the encoding rate variation of media content.

* 삼성전자 네트워크 사업부(crosscom@yonsei.ac.kr), ** 연세대학교 전기전자공학부({nanwook, yschoe}@yonsei.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-02-063, 접수일자 : 2009년 2월 14일, 최종논문접수일자 : 2009년 4월 6일

I. 서 론

최근 비디오 압축 기술과 인터넷 망의 급속한 발전으로 비디오 스트리밍 서비스는 인터넷 상의 서비스들 중에서 가장 인기 있는 어플리케이션 중 하나가 되어왔다. 일반적으로 대부분의 비디오 압축 기술은 가변길이부호화와 움직임 예측 알고리즘을 포함하기 때문에 이러한 압축 기술로 부호화 된 비디오 데이터들은 전송과정에서의 패킷손실과 딜레이 변화에 매우 민감한 특징을 가지고 있다. 하지만, 현재 인터넷 망에서의 비디오 스트리밍 서비스는 최선형 (best-effort) 서비스를 기본으로 하기 때문에 비디오 스트리밍 서비스에서 요구되는 전송 환경을 항상 보장할 수는 없다. 이런 이유로 네트워크 상황에 적응적인 비디오 스트리밍 서비스에 대한 연구가 활발히 이루어져왔다.

스케일러블 비디오는 네트워크의 상황에 따라 적응적으로 전송률을 제어 할 수 있다는 장점으로 인해 인터넷 상에서 비디오 스트리밍의 품질을 보장하기 위한 솔루션 중의 하나로써 간주되어왔다^{[1][2]}. 스케일러블 비디오로 부호화된 비트스트림은 하나의 기본계층(baseline layer)과 다수의 상위계층(enhancement layer)으로 이루어져있다. 기본계층은 비디오 영상의 가장 기본적인 화질을 제공할 뿐 아니라 상위계층과 결합하여 보다 향상된 품질을 제공한다. 저장 주문형 비디오 (Stored on-demand video)서비스에서 스케일러블 비디오는 스트리밍 서비스시 전송 레이어 수를 조절함으로써 별도의 인코딩/디코딩 부하 없이 선택적으로 전송율을 조절할 수 있어 각광을 받아오고 있다.

Liu 등은 [3]에서 각기 다른 중요도를 가지는 패킷들에 차등 데이터 보호 방식을 적용하여 패킷 손실로 인한 화질 열화를 줄이고자 하였다. 이처럼 스케일러블 영상 코딩과 차등 데이터 보호 방식의 사용을 통해 비디오 스트리밍의 품질을 향상시킬 수 있다. 하지만 에러 정정 부호의 사용은 패리티 패킷과 에러 정정 범위에 관한 정보 등과 같은 오버헤드를 피할 수 없다는 단점을 가지고 있다^[4]. 더욱이 에러 정정 부호와 User Datagram Protocol(UDP)를 사용하여 인터넷 상에서 대규모의 고품질 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 경우, 제한된 네트워크 자원 상에서의 큰 대역폭의 UDP들 간의 경쟁으로 인해 혼잡 붕괴(congestion collapse)와 같은 문제를 야기할 수도 있다^[5].

비디오 스트리밍 서비스의 품질을 보장하면서 네

트워크 자원을 공유하는 여러 서비스 플로우들 간의 형평성을 보장하기 위하여 TCP 혹은 TCP-Friendly Rate Control (TFRC)[6]의 전송계층 프로토콜을 이용하여 스케일러블 비디오 스트리밍하는 방식들이 제안되어왔다[7][8]. 특별히 Gorkemli 등은 [8]에서 두 개의 전송계층 채널을 사용하여 스케일러블 영상 코딩을 전송하는 방법을 제안하였다. 즉, 기본계층은 TCP를 통해 전송함으로써 에러 정정 부호의 사용으로 인한 오버헤드 없이 기본계층의 전송 신뢰성을 보장하고자 하였고 상위계층은 Datagram Congestion Control Protocol(DCCP)를 통해 전송함으로써 UDP의 큰 대역폭 점유 현상을 방지하고 TCP 친화성을 제공하고자 하였다. Gorkemli의 알고리즘에서는 패킷 손실로 발생할 수 있는 TCP 채널의 전송 지연을 최소화 하면서 스케일러블 비디오의 상위 계층 수신을 최대화하기 위해 DCCP 수신율 기반의 적응적 전송률 제어 기법을 제안하였다. 하지만 해당 기법은 DCCP 수신율만을 기준으로 하여 전송률 제어를 수행하였기 때문에 주변 플로우들의 개수가 시간에 따라 다양하게 변화하거나 가변비트율 (Variable Bit Rate: 이하 VBR)로 인코딩된 영상에 적용하였을 때 혼잡 발생과 해소에 따라 적절한 전송률 제어를 수행하지 못했고 그로 인해 큰 화질의 열화가 발생하게 되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이전의 스트리밍 기법들이 갖고 있는 이러한 한계를 극복하여 네트워크 상태나 서비스 되는 콘텐츠의 가변비트율에 관계없이 일정수준의 품질이 보장되는 전송율 제어 알고리즘을 제안하였다. 즉, 제안한 알고리즘은 [8]에서와 같이 전송 네트워크의 플로우간 형평성을 보장하고 혼잡붕괴를 피하기 위하여 TCP와 DCCP를 사용하는 스트리밍 모델을 사용하였고, 이때 주변 플로우의 개수가 변화하는 네트워크 상황을 클라이언트의 비디오 콘텐츠의 가변비트율을 고려하여 재생버퍼 (playout buffer)의 추후 상태를 예측하고 이에 근거하여 적응적으로 전송 계층수를 결정하도록 고안되었다. 즉, 버퍼 상태 예측기(playout buffer estimator)와 혼잡 수준 결정기(congestion level determinator, CLD) 그리고 Group of Picture(GOP)기반 평균 인코딩 비트율 계산기 등을 적용하여 최종 전송률을 결정하게 된다. 이를 통하여 기존의 방식에 비해 버퍼 언더플로우 (under-flow)에 의한 리버퍼링 (rebuffering) 발생 횟수를 최소화 하고 비디오의 화질 열화를 최소화 할 수 있게 되었다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 스케일러블 비디오 기반의 적응적 전송률 제어 알고리즘에 대하여 살펴보고자 한다. 이어서 3장에서는 제안된 네트워크 상태 및 콘텐츠 적응적 전송률 제어 알고리즘에 대하여 기술하고자 한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안 알고리즘의 성능을 검증하고, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. 기존의 스케일러블 비디오 기반 적응적 전송률 제어 알고리즘

Cuetos 등은 [7]에서 TCP 프로토콜 환경에서 클라이언트의 버퍼상태를 통한 적응적 전송률 제어기법을 제안하였다(그림 1). 서버에서 기본계층과 상위계층의 데이터는 하나의 TCP 채널에 멀티플렉싱하여 클라이언트에 전송되는 구조를 가지고 있다. Cuetos 등의 제안 방식은 모든 전송 계층의 신뢰성을 보장하고 스트리밍 플로우와 공존하는 다른 인터넷 플로우들 간의 형평성을 제공할 수 있지만 네트워크 혼잡상황에서 기본계층 비디오의 전송 지연까지 발생할 수 있기 때문에 이로 인해 재생 버퍼 언더런에 의해 재생멈춤(playback pause)이 빈번하게 생길 수 있는 단점이 있다.

Gorkemli 등은 기본계층은 TCP를 통하여 전송 신뢰성과 TCP 친화적인 혼잡제어를 동시에 제공하고, 상위계층은 DCCP를 통해 TCP 친화적인 혼잡제어만을 제공하는 스트리밍 모델을 제안하였다^[8](그림 2).

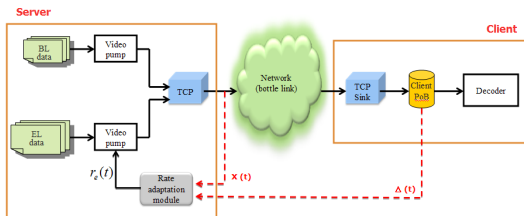


그림 1. Cuetos의 TCP기반 스트리밍 구조

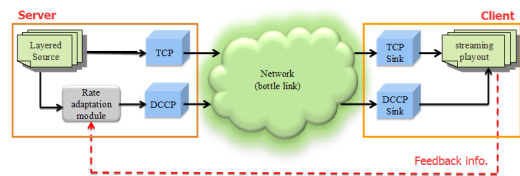


그림 2. Gorkemli의 TCP/DCCP 기반 스트리밍 구조

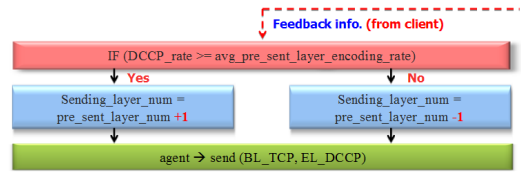


그림 3. Gorkemli의 적응적 전송률 제어 알고리즘

이를 통해 스트리밍의 최소 화질을 보장할 수 있게 되고 동시에 UDP의 혼잡 붕괴현상을 피하고자 하였다. 기본 계층의 버퍼링을 최소화 하면서 또한 화질 열화를 최소화하기 위해 [8]에서는 DCCP 수신율을 기반으로 하는 몇 가지 전송률 제어기법에 대한 실험을 수행하였고 그 중에서 DCCP 수신율과 이전 프레임들의 전송률을 비교하여 전송될 상위계층의 수를 한 계층씩 증가/감소하는 기법이 가장 좋은 성능을 보여준다는 것을 제시하였다. [8]의 논문에서 최적의 성능을 제공하는 알고리즘은 그림 3과 같이 DCCP의 수신율에 근거하여 네트워크의 혼잡을 감지하게 되는데, 이로 인해 VBR로 인코딩된 영상이나 주변플로우의 개수가ダイナミック하게 변화하는 환경에서는 혼잡현상의 발생과 해소시점을 제대로 감지하지 못하여 적절한 전송률 제어에 실패하는 한계가 있다. DCCP를 사용하는 상위 계층의 전송제어가 정확하게 이루어지지 않을 경우 전송 지연이 점점 더 커지게 되어 재생시점 이전에 패킷이 전송되는 것을 보장할 수 없게 된다. 3장에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 수신 버퍼의 상태를 통해 혼잡현상을 예측하고 이를 통해 적응적 전송률 제어를 수행하여 VBR 영상에서도 적용 가능한 알고리즘을 제안하고자 한다.

III. 미디어 특성과 네트워크 혼잡에 적응적인 전송률 제어 알고리즘

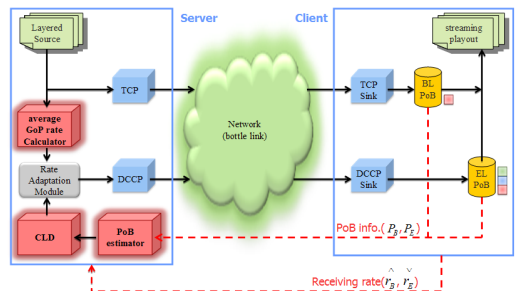


그림 4. 제안 스트리밍 모델 개요도

그림 4는 제안된 알고리즘의 스트리밍 모델을 나타낸다. 크게 재생버퍼의 이후 상태를 예측하는 모듈(PoB estimator)과 네트워크의 혼잡현상을 예측하기 위한 모듈(CLD)과 인코딩 영상의 계층별 부호화율을 실시간으로 업데이트 하는 모듈등으로 구성된다.

3.1 GOP기반 평균 인코딩 비트율 계산기

VBR로 인코딩된 영상은 일반적으로 매우 빈번하게 변동하는 인코딩 비트율을 보여준다. 그림 5은 VBR로 인코딩된 영상의 인코딩 비트율의 예를 보여주고 있다. 주목해야 할 점은, 사각형의 부분과 같이 인코딩 비트율이 특히 급격하게 증가하는 부분이 나타날 수 있다는 점이다. 만약 이처럼 급격히 인코딩 비트율이 증가하는 부분에서 서버 어플리케이션에서 이전에 전송한 것과 같은 양의 상위계층의 수를 유지하며 전송을 진행한다면 전송률이 급격히 상승하게 되고 이는 혼잡현상을 유발하는 원인이 될 수 있다. 이런 이유로 VBR로 인코딩된 영상을 스트리밍 서비스 할 경우 많은 문제가 발생하게 된다. 이런 문제들을 해결하기 위해 제안된 알고리즘에서는 전송시점에서 GOP 크기의 슬라이딩 윈도우를 사용하여 평균 인코딩 비트율을 계산하고 매 프레임을 전송할 때 마다 이 값을 갱신하여 이 정보를 적응적 전송율 제어기에 전달하도록 하였고 이를 통해 전송율의 급격한 변동을 방지하고자 하였다.

3.2 재생버퍼 상태 예측기

제안한 버퍼상태예측기는 클라이언트에서의 버퍼 상태를 예측하는 역할을 수행한다. 버퍼 상태 예측 모듈은 클라이언트로부터 전달되는 피드백 패킷 수신시마다 버퍼상태 예측을 수행한다. Δt 시간 이후의 버퍼상태의 예측은 다음의 식 (1)과 식 (2)를 통해 수행되어진다.

$$\begin{aligned} \tilde{P}_B(t + \Delta t) = & P_B(t) + \int_t^{t+\Delta t} \hat{r}_B(t) dt - \mu_B \cdot \Delta t \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{P}_E(t + \Delta t) = & P_E(t) + \int_t^{t+\Delta t} \tilde{r}_E(t) dt - \mu_{E_n} \cdot \Delta t \quad (2) \end{aligned}$$

위 식들에서 $P_B(t)$ 과 $P_E(t)$ 는 기본계층과 상위 계층의 현재 시점에서의 버퍼상태를 나타내며 이는 클라이언트로부터 전달되는 피드백 정보를 통해서 얻어지게 된다. $\hat{r}_B(t)$ 과 $\tilde{r}_E(t)$ 는 기본계층에 대한 평균 수신율과 상위 계층에 대한 유효 수신율을 의미한다. 여기서 유효한 수신율은 서버로부터 전송받은 패킷들 중 에러가 생겨서 복원이 불가능한 프레임의 패킷과 기본 계층이 재생되는 시점보다 늦게 도착하여 버려지는 패킷들을 제외한 패킷들의 수신율을 의미한다. 임의의 예측 인터벌 Δt 는 수신단의 피드백 정보 전송 주기로 설정되었다. μ_B 과 μ_E 는 기본계층과 상위계층의 인코딩 비트율의 평균을 의미하고 이 값들은 이후에 설명될 GOP기반의 평균 인코딩 비트율 계산 모듈을 통해 계속 업데이트 된다. 이때 재생되어 버퍼에서 빠져나가는 상위 계층의 데이터량을 예측하기 위해 현재 평균적으로 재생에 사용되고 있는 상위계층이 양이 필요하게 된다. 따라서 \hat{n} 을 일정기간 동안 클라이언트에서 플레이되는 평균 계층의 수로 정의하고 클라이언트로부터 이 정보를 피드백 받아 예측에 사용하였다. 예측된 버퍼의 상태에 대한 정보는 혼잡수준결정기에 전달되게 되고 이는 네트워크상의 혼잡현상을 감지하기 위한 파라미터로 사용되게 된다.

3.3 혼잡수준결정기

혼잡수준결정기는 버퍼상태예측기와 버퍼의 임계값 등을 통해 현재 네트워크의 상태를 결정하는 역할을 수행한다. 이를 위해 그림 6과 같이 3개의 임계값이 사용된다. $P_{B.th}$ 는 기본계층 버퍼의 하위 임계값을 의미하고, $P_{E.low.th}$ 와 $P_{E.up.th}$ 는 상위계층 버퍼의 하위 임계값과 상위 임계값을 의미한다. 위의 임계값들은 많은 실험을 통해 결정되었으며 제안된 알고리즘에서 사용된 $P_{B.th}$ 과 $P_{E.low.th}$ 는 초기 버퍼링 시간동안 축적된 양의 65%로 $P_{E.up.th}$ 는 초기 버퍼링 시간동안 축적된 양의 100%로 하였다.

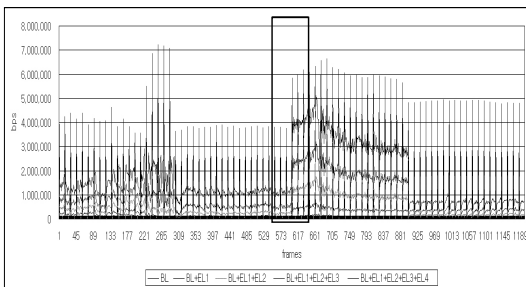


그림 5. VBR로 인코딩된 영상의 인코딩 비트율 예

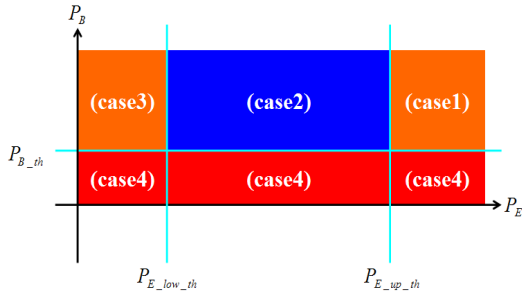


그림 6. 혼잡수준결정기 (CLD)

즉, 예를 들어 전송 비디오의 기본 계층의 평균 비트율이 128Kbps이고 초기 버퍼링 시간이 5초라면, 416Kbits(=128Kbps x 5 sec x 0.65)와 같이 결정하였다. 이는 버퍼의 하위 임계값에 전송 비디오의 평균 인코딩 비트율을 반영함으로써 인코딩율의 변화가 네트워크 혼잡판단에 영향을 주지 않기 목적이다. 초기 버퍼링 시간동안 서버는 전송가능한 모든 상위계층을 전송하는 것으로 가정하였다. 그림 6과 같이 혼잡수준결정기는 예측된 버퍼의 상태 값과 3개의 임계값을 통해 4가지의 혼잡 케이스를 결정하게 된다. 여기서 결정된 혼잡경우에 대한 정보는 적응적 전송률 제어기에 전달되고 4절에서 설명하는 전송 상위계층 레벨 결정에 사용되게 된다.

3.4 전송률 제어 모듈

제안된 전송률 제어 알고리즘은 제한된 네트워크 리소스 내에서 비디오 스트리밍의 품질을 보장하기 위해 네트워크 상황에 따라 적절한 상위계층의 개수를 결정하는 역할을 수행한다. 그림 7은 제안된 전송률 제어 모듈을 나타내고 있다. 본 제어 모듈은 혼잡수준결정기에 의해서 결정된 4가지의 혼잡수준에 따라 그에 맞는 전송률 제어를 수행하게 된다. 각각의 전송률 제어 절차는 크게 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째 부분은 네트워크 상황을 고려하여 일

마나 많은 상위계층을 전송할 것인지 전송계층의 수를 결정하는 역할을 수행하고 두 번째 부분은 GOP기반으로 계산된 평균 인코딩 비트율을 고려하여 최대 전송 계층의 수를 제한하는 역할을 수행한다. 자세한 과정은 다음과 같다.

◎ Case 1 : $\bar{P}_B > P_{B.th}$ && $\bar{P}_E > P_{E.up.th}$

Case1은 수신 버퍼의 상태가 \bar{P}_B 는 적절하고 \bar{P}_E 는 과도한 경우를 의미한다. 이 경우 송신율 제어 모듈은 이전에 전송한 계층의 수와 동일하게 현재 전송 계층의 수를 유지한다. 먼저 \bar{P}_B 가 적절한 상태를 유지하고 있으므로 기본계층의 전송이 원활하게 이루어짐을 알 수 있지만 \bar{P}_E 의 상태는 과도한 상위계층의 전송량은 네트워크 혼잡을 유발할 수 있음을 의미한다. 따라서 전송률 제어모듈은 더 이상 상위계층의 수를 늘리지 않는다. 전송할 상위계층의 수를 결정하고 나면 송신율 제어 모듈은 VBR 영상의 인코딩 비트율의 변동으로 인한 혼잡 유발을 예방하기 위해 앞서 결정된 상위계층의 수를 재조정하는 역할을 수행한다. 실제 시스템에서는 수신 버퍼의 크기가 한정되어 있기 때문에 일정수준 이상으로 계속 버퍼에 남아있는 데이터양이 증가한다면, 전송레이어 수를 줄여야 하지만, 본 논문에서는 수신 및 재생버퍼의 크기가 충분히 크다고 가정하였다.

◎ Case 2 : $\bar{P}_B > P_{B.th}$ &&

$P_{E.low.th} < \bar{P}_E < P_{E.up.th}$

Case2는 \bar{P}_B 와 \bar{P}_E 가 모두 적절한 수준을 유지하고 있는 경우를 의미한다. 이 경우 송신율 제어 모듈은 전송할 상위계층을 수를 증가시킨다. 그러나 급격한 전송율의 변화는 혼잡현상을 유발할 수 있기 때문에 한 단계씩 점진적으로 증가시킨다.

◎ Case 3 : $\bar{P}_B > P_{B.th}$ && $\bar{P}_E < P_{E.low.th}$

Case3은 \bar{P}_B 의 상태는 적절하게 유지되고 있지만 \bar{P}_E 가 하계 값보다 낮은 경우를 의미한다. 이 경우 두 가지 상황이 존재할 수 있다. 첫 번째 상황은 서버에서 일정 수준의 상위계층을 전송하고 있지만 클라이언트에서 모든 계층을 다 받지 못해서 상위계층의 버퍼 상태가 낮게 유지되는 경우이고, 두 번째 상황은 실제로 서버에서 낮은 수준의 계층들만

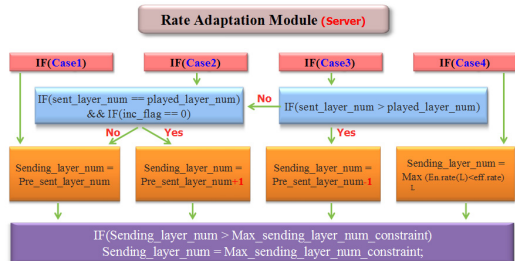


그림 7. 적응적 전송률 제어 모듈

전송하여 버퍼의 상태가 낮게 유지되는 경우이다. 따라서 이 경우 전송률 제어 모듈은 각각의 상황에 따라 서로 다른 전송률 제어기법을 적용하게 된다. 첫 번째 상황의 경우 현재 시점에서 사용가능한 대역폭이 서버에서 전송하고 있는 데이터양을 모두 전송하기에는 불충분함을 의미한다. 그러므로 전송되는 상위계층의 수는 감소되어야 하기 때문에 계층 수를 한 단계 줄이게 된다. 반면 두 번째 상황의 경우 클라이언트가 서버로부터 전송된 모든 상위계층을 잘 전송받고 있으므로 송신율 제어 모듈은 전송 계층의 수를 점차 증가시키게 된다. 그림 7에서와 같이 각 상황에 따른 판단은 전송된 계층수와 피드백 패킷으로 전달되는 재생된 계층수를 비교하여 이루어진다.

◎ Case 4 : $P_B < P_{B,th}$

Case4는 \tilde{P}_B 와 \tilde{P}_E 가 모두 P_E 하계 값보다 낮은 경우로 현재 네트워크 상황이 극심한 혼잡상태라는 것을 의미한다. 기본계층은 낮은 인코딩 비트율을 갖기 때문에 전송 중 대역폭의 점유율이 매우 작은 특성을 가지므로 기본계층의 전송이 원활하지 않다는 것은 혼잡현상의 수준이 높다는 것을 의미하기 때문이다. 따라서 최소한의 상위 계층 데이터만을 전송하기 위하여 전송률 제어 모듈은 상위 계층에 대한 현재 유효 수신율을 넘지 않는 범위에서 상위 계층의 수를 선택한다.

IV. 실험결과

본 장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 제안 알고리즘의 성능을 검증하고자 한다. 제안 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 NS-2 시뮬레이터^[11]를 사용하였고 이에 사용된 네트워크 토폴로지는 그림 8과 같다.

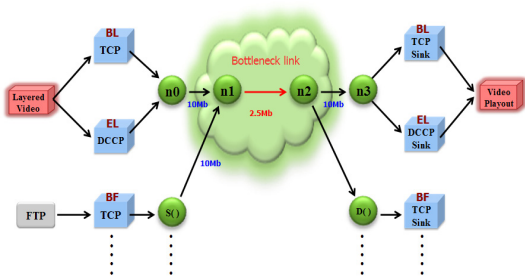


그림 8. 시뮬레이션 네트워크 토폴로지

실험에 사용된 영상은 JSVM 9.12.1[12] 표준 코덱을 사용하여 인코딩하였고 240초의 재생시간을 갖고 15 프레임의 GOP 크기를 갖도록 인코딩 되었다. VBR 비디오의 비트 변화를 모델링하기 위하여 foreman, soccer, container, coastguard 등 다수의 보편적인 실험영상들을 반복적으로 연결하여 인코딩하였다. 스케일러블 비디오는 하나의 기본계층과 4개의 상위계층으로 이루어진 화질 계위성(SNR scalability)을 사용하였다. 기본계층은 평균 107kbps로 인코딩되었고, 상위계층은 평균 264kbps~1897kbps의 인코딩 비트율을 가지며 최대 인코딩 비트율은 7.2Mbps인 VBR 인코딩 방식을 사용하였다. 이와 같은 실험영상과 네트워크 토폴로지와 함께 두 가지 경우의 백그라운드 트래픽 환경을 시뮬레이션 하였다. 첫 번째 경우는 비디오 콘텐츠의 부호화에 따른 전송률 제어 상태를 평가하기 위하여 백그라운드 FTP 트래픽이 전혀 없는 경우 (시나리오 1), 즉 전송 네트워크 크기에 비디오 스트리밍 서비스만 존재할 경우를 실험하였고 두 번째 경우는 그림 9와 같이 백그라운드 FTP플로우가 비디오 스트리밍 서비스 도중 발생/제거 되는 경우이다 (시나리오 2).

제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 Peak noise to signal ratio(PSNR)과 송/수신 계층수 비율 그리고 버퍼링 횟수를 사용하였다. 송/수신 계층수 비율은 L_Ratio 라고 표기하였고 정의는 아래의 식 (3)과 같다.

$$L_Ratio = \frac{\sum L_p(n)}{\sum L_s(n)}, \quad (3)$$

위의 식에서 L_p 과 L_s 는 순서대로 플레이 된 계

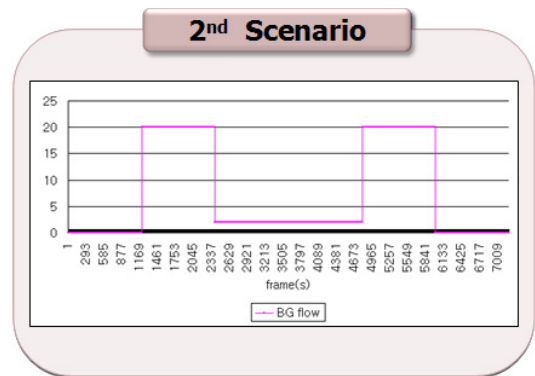
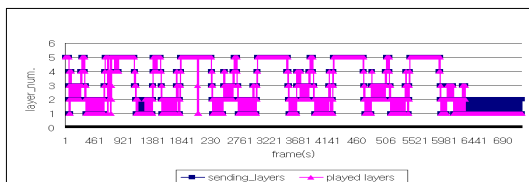


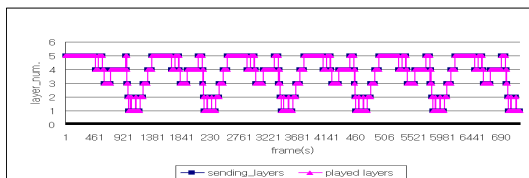
그림 9. 두 번째 시나리오에서의 백그라운드 TCP플로우의 개수 변화

층의 수와 전송한 계층의 수를 의미한다. L_Ratio 는 서버에서 송신율 제어 알고리즘에 의해 결정된 송신 계층수와 클라이언트에서 실제 플레이된 계층수를 비교함으로써 네트워크의 상황에 따라 얼마나 적응적인 송신율 제어의 효용성을 평가하는 도구로 사용되어진다.

그림 10과 11은 백그라운드 FTP 플로우가 없는 경우인 시나리오1에서의 실험결과를 나타낸다. Gorkemli 방식과 제안방식으로 실험하였을 때, 백그라운드 트래픽이 없음에도 불구하고 전송계층의 수가 변화되는 이유는 VBR 인코딩 된 영상의 본질적인 인코딩 비트율의 변동으로 인한 것이다. 특히 인코딩 비트율이 병목구간의 대역폭보다 커지는 구간에서는 적절한 전송률 제어가 이루어지지 않을 경우 버퍼링을 유발할 뿐만 아니라 화질의 열화도 가져올 수 있게 된다. 그림 10 (a)에서 기존 알고리즘은 계층 수의 변화가 급격히 이루어지고 실험의 마지막 부분에서는 이러한 빈번한 변화가 오히려 혼잡현상을 유발하여 버퍼의 상태가 불안정해지고 큰 화질의 열화로 이어지는 것을 볼 수 있다. 반면 그림 10 (b)의 제안 알고리즘에서는 인코딩 비트율이 급격히 상승하는 구간에서도 적절하게 송신율을 조절함으로써 스트리밍의 끝나는 시점까지 안정적인 플레이가 가능하도록 하는 것을 알 수 있다. 그 결과 표 1을 보면 L_Ratio 측면에서 제안된 알고리즘은 전송한 모든 계층이 클라이언트에서 안정적으로 플레이되는 것을 확인할 수 있고 평균 PSNR도 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 기존 알고리즘이 1회의 버퍼링 횟수를 가지는데 비해 제안된 알고리즘은



(a) Gorkemli 알고리즘



(b) 제안 알고리즘

그림 10. 전송 계층수와 실제 재생된 계층수 비교 (시나리오 1)

버퍼링 없이 전송이 되고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 제안된 알고리즘은 패킷 손실 없이 스트리밍이 가능하였지만 기존 알고리즘은 약 0.42%의 손실을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

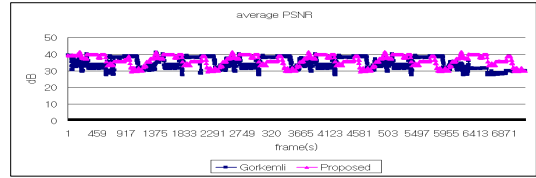
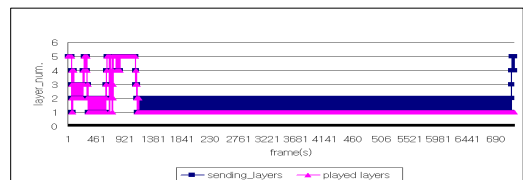
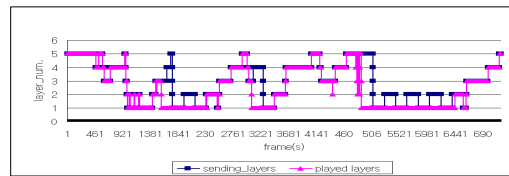


그림 11. 평균 PSNR의 비교 - 시나리오 1



(a) Gorkemli 알고리즘



(b) 제안 알고리즘

그림 12. 전송 계층수와 실제 재생된 계층수 비교 (시나리오 2)

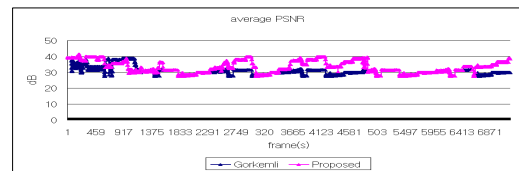


그림 13. 평균 PSNR의 비교 - 시나리오 2

표 1. 기존 방식^[8]과 제안 방식의 성능평가

		L_Ratio	평균 PSNR	버퍼링 수	패킷 손실율 (%)
시나리오 1	기존 방식	0.968189	34.33008	1	0.42
	제안 방식	1	35.91966	0	0
시나리오 2	기존 방식	0.751625	30.69315	2	1.53
	제안 방식	0.873516	33.24904	0	0.22

그림 12와 13은 시나리오 2, 즉 주변 플로우의 개수가 시간에 따라 변화하는 경우에 대한 실험결과를 나타낸다. 그림 12 (a)를 보면 기존 알고리즘은 혼잡현상이 발생하는 시점에서 적절히 전송률을 제어하지 못하여 전송된 패킷이 플레이 되는 시점에 클라이언트에 제대로 도착하지 못하는 현상을 나타내었다. 이런 현상이 발생하게 되는 이유는 기존 알고리즘이 단지 DCCP 수신율에만 의존하여 전송률을 제어하기 때문에 VBR로 인코딩 된 영상의 특성을 제대로 반영하지 못하고 네트워크의 혼잡 발생/해제 상황을 정확하게 인지하지 못하기 때문이다. 반면에 제안된 알고리즘은 혼잡현상이 발생하는 시점에서 혼잡상황을 신속히 감지하고 그에 따라 상위계층의 수를 줄이고 혼잡현상이 완화되는 시점에서는 다시 점차적으로 전송 계층의 수를 늘려가면서 전송률을 높이고 있는 것을 알 수 있다. 이런 방법을 통해 제안된 알고리즘은 재생시간 보다 상위계층의 비디오 패킷들이 늦게 도착하는 문제를 해결할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 품질 보장형 비디오 스트리밍 서비스를 위하여 스케일러블 비디오의 콘텐츠 특성과 네트워크 혼잡상태에 기반한 전송률 제어 알고리즘을 제안하였다. VBR로 부호화된 스케일러블 비디오의 계층별 부호화 특성을 GOP단위로 분석하고 클라이언트의 재생버퍼 상태를 실시간으로 예측하여 이를 혼잡상태 감지 요인으로 삼아 이를 통해 효율적으로 스케일러블 비디오의 전송 상위 계층수를 결정하여 클라이언트에서 최소한의 품질이 보장될 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과에서 확인한 바와 같이 제안방식은 기존의 방식보다 기본계층의 전송 지연 측면과 상위계층의 손실 측면에서 모두 좋은 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] W. Li, "Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 301-317, 2001.
 [2] H. Schwarz, D. Marpe and T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard", IEEE

Transactions on Circuit and System for Video Tech., Vol. 17, No. 9, September 2007

[3] Y. Liu and O. Yu, "Adaptive unequal loss protection for scalable video streaming over IP networks", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 51, No. 4, November 2005.
 [4] S. Kang and D. Loguinov, "Impact of FEC overhead on scalable video streaming," NOSSDAV'05, pp.123-128, June 2005
 [5] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet", IEEE/ACM Trans. Networking, vol 7, num 4, pp.458-472, 1999
 [6] RFC896, 'Congestion control in IP/TCP internetwork'
 [7] P. Cuetos, P. Guillotel, K. Ross and D. Thoreau, "Implementation of adaptive streaming of stored MPEG-4 FGS video over TCP," in International Conference on Multimedia and Expo (ICME02), August 2002.
 [8] B. Gorkemli and M. Reha Civanlar, "SVC Coded Video Streaming over DCCP", IEEE International Symposium on Multimedia (ISM'06), 2006
 [9] E. Kohler, M. Handley and S. Floyd, "Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)." Internet Engineering Task Force, March 2006. RFC 4340.
 [10] ns-2 Network Simulator, available from <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, (2007).
 [11] JSVM software. Available from CVS repository: pserver:jvtuser:jvt.Amd.2@garcon.ient.rwthaac hen.de:/cvs/jvt

정 영 하 (Young H. Jung)

정회원



1997년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업

1999년 2월 연세대학교 전기전자공학과 석사

2009년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사

2000년 3월~현재 삼성전자 네트워크 사업부 책임연구원

<관심분야> Video Communication, Multimedia Networking, 3GPP Packet Service Network

강 영 욱 (Young Wook Kang)

정회원



2007년 2월 연세대학교 전기전
자공학과 졸업

2009년 2월 연세대학교 전기전
자공학과 석사

2009년 3월~현재 LG전자 멀티
미디어 연구소 연구원

<관심분야> 영상코딩, H.264/

AVC, 영상통신

최 윤 식 (Yoonsik Choe)

중신회원



1979년 2월 연세대학교 전기공
학과 졸업

1987년 5월 펜실베이니아 주립대
전기공학 M.S.

1990년 2월 퍼듀대학 전기공학
Ph.D

1993년 3월~현재 연세대학교 전
기전자공학과 정교수

<관심분야> 영상신호처리, 영상 코딩, 멀티미디어
통신 등