

끊김없는 미디어 스트리밍을 위한 프리페칭 기반 적응적 미디어 재생 기법

이 좌 형[†] · 정 인 범^{††}

요 약

기존의 인터넷 기반 스트리밍에 관한 연구들에서는 네트워크의 변화에 따라 적응적으로 QoS(Quality of Service)를 조절하는 기법들을 제시하여 왔다. 하지만 이는 서비스 제공자 입장에서의 문제 해결이며 네트워크 상태에 상관없이 일정한 QoS를 원하는 사용자에게는 적합하지 않다. 본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 끊김없는 미디어 스트리밍을 보장하는 프리페칭 기반 적응적 미디어 재생 기법인 PAP을 제안한다. 제안하는 PAP기법에서는 서버 측에서 네트워크 장애에 대비하여 미디어 데이터를 미리 전송하는 프리페칭 기법을 사용하며 클라이언트에서는 장애발생시 프리페칭된 미디어 데이터의 재생간격을 적응적으로 조절하여 재생하도록 한다. 클라이언트에서는 네트워크에 장애 발생여부에 따라 프레임의 재생간격을 늘리거나 줄여 버퍼 언더플로우가 발생할 확률을 줄인다. 프리페칭과 적응적 미디어 재생 기법을 함께 사용함으로써 미디어의 화질 열화와 재생 지연을 최소화시킬 수 있다. 실험을 통하여 비디오 스트림의 특성을 분석하였으며 이를 바탕으로 네트워크 상태에 따라 적응적으로 프리페칭을 함으로써 기존 방식에 비해 QoS를 일정하게 유지할 수 있음을 보였다.

키워드 : 미디어 스트리밍, 대역폭, QoS, 프리페칭, 프레임 전송율, 적응적 미디어 재생

Prefetching Based Adaptive Media Playback for Seamless Media Streaming

Joahyoung Lee[†] · Inbum Jung^{††}

ABSTRACT

Recently, with the advance of computing and networking technique, the high speed internet becomes widespread, however, it is still hard job to do streaming the media which requires high network bandwidth over the internet. Previous researches for streaming over the internet mainly proposed techniques that controls the QoS(Quality of Service) of the media in proportion to the network status. Though, this could be the solution for the service provider while the service user who wants constant QoS may not satisfy with variable QoS. In the paper, we propose a network adaptive prefetching technique, PAP, for guarantee of constant QoS. The PAP prefetches frames by increasing the frame transmission rate while the available network bandwidth is high. The PAP uses the prefetched frames to guarantee the QoS while the available network bandwidth is low and increases the playout interval to prevent buffer underflow. The experiment result shows that the proposed PAP could guarantee the constant QoS by prefetching the frames adaptively to the network bandwidth with the characteristic of video stream.

Keywords : Media Streaming, Network Bandwidth, QoS, Prefetching, Frame Rate, AMP

1. 서 론

최근 IPTV 와 같이 네트워크를 통하여 비디오를 제공하는 서비스가 널리 보급되기 시작하면서 VOD(Video On Demand)시스템에 대한 연구가 더욱 활발해지고 있다[1, 2].

비디오를 가변적인 네트워크 대역폭을 갖는 인터넷을 통해 제공할 경우 비디오 데이터의 QoS에 대한 고려가 필요하다 [3]. 네트워크 혼잡으로 인하여 패킷이 손실되거나 늦게 도착하면 비디오 데이터에 열화가 발생하여 사용자가 느끼는 QoS가 떨어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 연구들이 진행되어 왔는데 크게 서버측에서 네트워크 상태에 따라 전송되는 스트림을 조절하는 서버중심의 기법과 서버의 도움없이 클라이언트가 버퍼상태에 따라 미디어 재생을 조절하는 클라이언트 중심 기법으로 나눌 수 있다[4, 5,

[†] 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정
^{††} 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)
논문접수 : 2009년 2월 11일
수정일 : 1차 2009년 6월 30일
심사완료 : 2009년 7월 1일

23, 24].

대부분의 서버중심 기법에 관한 연구들은 네트워크의 변화에 따라 전송되는 비디오 스트림을 조절하여 데이터의 손실과 지연을 방지하는데 중점을 두고 있다[9]. 이는 서비스 제공자 입장에서의 QoS보장이라고 볼 수 있다. 서비스 제공자 입장에서는 네트워크 상태는 중요한 고려사항이기 때문에 QoS를 이에 맞추고자 한다. 하지만 사용자 입장에서는 네트워크 상태가 중요한 고려사항이라 보기 어렵다. 스트리밍 서비스를 이용하는 사용자 입장에서는 네트워크는 보이지 않는다. 사용자에게는 눈에 보이는 비디오 스트림의 화질이 제일 중요하다. 네트워크 상태가 안좋아졌다고 해서 비디오의 화질도 나빠지면 사용자 입장에서는 QoS를 보장받지 못하는 것이다. 사용자는 네트워크나 다른 환경 변화에 상관없이 일정한 수준 이상의 QoS를 보장받아야만 한다[12].

클라이언트 중심의 QoS보장 기법으로는 버퍼상태에 따라 재생간격을 조절하는 적응적 미디어 재생기법이 대표적이다. 적응적 미디어 재생기법에서는 네트워크 상의 문제로 서버로부터 클라이언트로 미디어 패킷이 전송되지 않아 클라이언트의 미디어 버퍼의 양이 일정기준 이하로 내려갈 경우 미디어의 프레임별 재생간격을 늘리는 기법이다. 실험을 통하여 최대 25%까지 재생간격을 늘려도 사용자들이 비디오를 시청하는데 불편함을 느끼지 못하는 것으로 알려져 있다. 하지만 클라이언트 독립적으로 수행하는 적응적 미디어 재생기법만으로 네트워크 장애를 극복하기에는 한계가 있다 [9, 23, 24].

본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 끊임없는 미디어 스트리밍을 보장하는 프리페칭 기반 적응적 미디어 재생 기법(PAP, Prefetching Based Adaptive Media Playout)을 제안한다. 제안하는 PAP기법에서는 서버 측에서 네트워크 장애에 대비하여 미디어 데이터를 미리 전송하는 프리페칭 기법을 사용하며 클라이언트에서는 장애발생시 프리페칭된 미디어 데이터의 재생간격을 적응적으로 조절하여 재생하도록 한다. PAP기법에서 사용되는 프리페칭은 미디어 데이터의 화질을 약간만 열화시키도 많은 수의 비트가 줄어드는 미디어 압축기법의 특성에 기반한다. 클라이언트에서는 네트워크에 장애 발생여부에 따라 프레임의 재생간격을 늘리거나 줄여 버퍼 언더플로우가 발생할 확률을 줄인다. 프리페칭과 적응적 미디어 재생 기법을 함께 사용함으로써 미디어의 화질 열화와 재생 지연을 최소화시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티미디어 스트리밍에 관련된 연구들을 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 서비스 대상으로 하는 동영상 압축의 특성에 관하여 간단히 살펴본다. 4장에서는 제안하는 기법에 대하여 설명하고 5장에서 이에 대한 성능을 평가한 다음 6장에서 논문에 대한 결론과 향후 연구에 관하여 논한다.

2. 관련 연구

현재의 인터넷은 통신하는 노드들 사이에 패킷을 전달하

기 위해서 최선의 노력(Best Effort)을 하지만 정확한 전달을 보장하지는 않는다. 이러한 인터넷에서 스트리밍 서비스를 위하여 다양한 연구가 시도되어 왔는데 크게 서버 측에서 네트워크 상태에 따라 전송되는 스트림을 조절하는 서버 중심의 기법과 서버의 도움 없이 클라이언트가 버퍼상태에 따라 미디어 재생을 조절하는 클라이언트 중심 기법으로 나눌 수 있다[4, 5].

비디오 스트림의 비트 레이트를 줄이는 가장 단순한 방법으로는 여러 비트 레이트를 갖는 여러 레벨의 스트림을 저장하고 가용한 대역폭에 따라 적합한 레벨에서 데이터를 읽어 전송하는 방식이 있다[10, 11, 12]. 이 방식은 이미 인코딩되어 저장되어 있는 스트림에서 선택적으로 데이터를 전송하기 때문에 서버에서의 오버헤드는 적으나 얼마나 많은 레벨로 나뉘어져 있느냐에 따라 네트워크 변화에 대한 적응도가 달라진다[15, 16]. 최근에는 컴퓨팅 기술의 발전으로 비디오 스트림의 비트 레이트나 해상도와 같은 특성을 실시간으로 변환하여 전송하는 트랜스코딩 기법이 도입되고 있다 [17, 18]. 최근 대두되고 있는 SVC(Scalable Video Coding)기법에서는 동영상 압축기법에 이러한 기능들을 추가하고 있다[19]. SVC에서는 네트워크 상태에 따라 시간적으로 전송되는 프레임수를 조절하거나 재생되는 영상의 해상도를 조절하는 기능을 가진다. 또한 하나의 스트림이 여러 서브 스트림들로 구성되어 일부의 스트림만 수신하더라도 재생이 가능하다.

적응적 미디어 재생은 클라이언트가 오디오나 비디오의 재생 간격을 상황에 따라 조절하는 것이다. 오디오 재생부분에서 적응적 미디어 재생에 관한 연구가 시작되었으며 최근 들어 이 기법을 비디오 재생에 적용하고자 하는 연구가 시작되고 있다. 기존 연구에 따르면 사용자들은 미디어의 재생속도를 25%까지 늘려도 차이나 불편함을 느끼지 못하는 것으로 알려져 있으며 일부 콘텐츠에 따라서는 50%까지도 가능한 것으로 알려져 있다. 적응적 미디어 재생은 기본적으로 클라이언트 독립적으로 버퍼 언더플로우를 예방하기 위해 수행하는 것이며 부가적으로 사용자의 초기 버퍼링 대기시간을 줄여주는 효과가 있다[22, 23, 24].

기존의 미디어 스트리밍에서 끊임없는 서비스를 제공하기 위한 연구들은 대부분 서버 또는 클라이언트 독립적으로 네트워크 장애에 대응하는 기법들을 제시하고 있다. 하지만 미디어 스트리밍은 서버나 클라이언트가 독립적으로 수행하는 것이 아니라 서로가 연계되어 작업을 수행하는 것이기 때문에 네트워크 장애에 대한 대응도 양측이 연계되어 동작하여야만 한다. 본 논문에서는 서버 측과 클라이언트가 유기적으로 네트워크 장애에 대응하도록 하는 기법을 제시하고자 한다.

3. 압축 동영상 미디어의 특징

CQ(Constant Quality) 동영상은 영상의 내용이나 움직임 등에 따라 비트율에 변화가 발생하는 단점이 있지만 일정

한 품질을 제공하는 장점이 있다. CQV의 이런 특징은 양자화 단계에서 사용되는 양자화 파라미터(QP, Quantization Parameter)를 일정하게 유지하기 때문에 일정한 품질을 제공할 수 있지만 영상의 내용이나 움직임 등에 변화가 많으면 생성되는 비트율도 변하기 때문이다. CQV에서는 압축하는 영상의 내용에 따라 비트율이 달라지지만 하나의 동영상 내에서는 거의 일정한 비트율을 제공할 수 있다. 이런 영상을 CQ-CBR(Constant Quality - Constant Bit Rate)이라 한다[6, 7].

(그림 1)은 양자화 파라미터와 프레임 크기 사이의 상관관계를 보여준다. (그림 1)은 세 개의 영상 -flower, news, foreman- 을 각각 300프레임씩 MPEG-4로 압축한 결과이다. 양자화 파라미터의 범위는 2에서 31사이로 하였으며 양자화 파라미터가 작을수록 압축된 영상의 화질은 좋아지며 비트율도 높아진다. (그림 1)은 세 영상의 양자화 파라미터별 평균 프레임 크기를 보여준다. 평균 프레임 크기가 영상별로 약간의 차이가 있기는 하지만 세 영상이 비슷한 모양을 나타냄을 볼 수 있다. 이를 통하여 영상의 종류에 따라 평균 프레임 크기는 달라지지만 양자화 파라미터와 프레임 크기 사이에는 공통적인 관계가 있음을 유추할 수 있다. 양자화 파라미터와 프레임 크기간의 상관관계를 파악하면 양자화 파라미터로 프레임 크기를 유추할 수 있으며 반대로 원하는 크기의 프레임 크기를 위한 양자화 파라미터를 유추할 수도 있다.

양자화 파라미터를 기반으로 하는 레이트-왜곡 모델(Rate-Distortion Model)을 통해 양자화 파라미터에 따른 프레임 사이즈를 유추할 수 있다[6, 7]. 본 논문에서는 가우시안분포(Gaussian Distribution)를 이용하여 양자화 파라미터와 평균 프레임 크기간의 관계를 정의한다[25, 26]. 동영상의 양자화 파라미터(QP, Quantization Parameter)별 평균 프레임 크기(MFS, Mean Frame Size)는 감마분포를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$MFS(QP) = GPDF(QP, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\chi - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

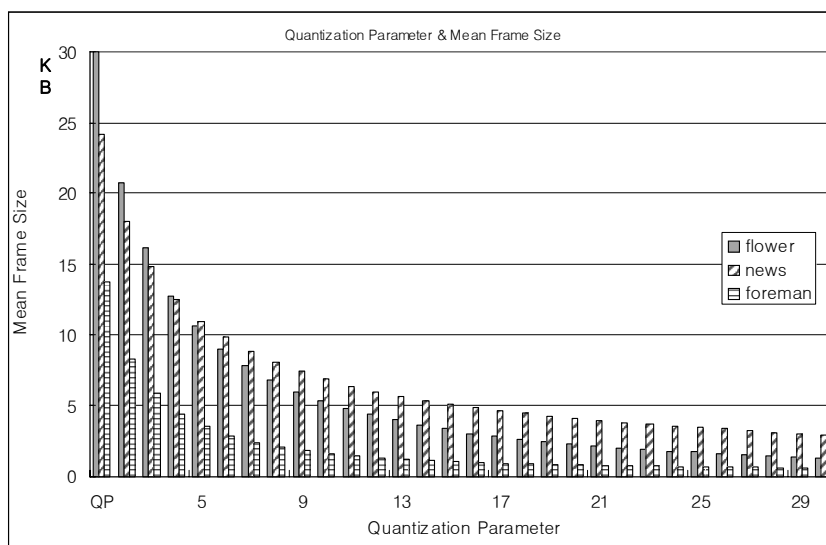
여기서 μ 는 모양 파라미터이며 σ 는 크기 파라미터이다.

반대로 특정한 프레임 크기를 위한 양자화 파라미터 값을 구하기 위해서는 가우시안분포의 역확률밀도 함수(GIPDF, Gaussian Inverse Probability Density Function)를 이용하면 된다.

$$QP(MFS) = GIPDF(MFS, \mu, \sigma)$$

4. PAP (Prefetching Based Adaptive Media Playback)

PAP기법에서는 앞서 살펴본 동영상의 특징을 이용하여 미디어 데이터를 미리 전송하는 프리페칭 기법을 서버측에서 사용하며 장애발생시 버퍼상태에 따라 프리페칭된 미디어 데이터의 재생간격을 적응적으로 조절하여 재생하는 적응적 미디어 재생 기법을 클라이언트 측에서 사용한다. PAP기법에서 사용되는 프리페칭은 3장에서 살펴본 바와 같이 미디어 데이터의 압축시 양자화 파라미터를 조절하여 화질을 약간만 열화시키도 출력되는 미디어 스트림의 많은 수의 비트가 줄어드는 미디어 압축기법의 특성에 기반한다. 약간의 화질 열화를 감수하면 같은 네트워크 대역폭으로 보다 많은 프레임을 전송할 수 있기 때문에 네트워크 장애에 대비할 수 있다. 사용자 관점에서 보면 미디어의 화질이 좀 낮더라도 네트워크 장애 발생시 미디어 스트리밍이 중단되는 것보다는 지속적으로 스트리밍 서비스가 제공되는 것이 나은 QoS를 보장받는 것이 된다. 클라이언트에서는 네트워크 장애가 발생하여 버퍼에 저장된 미디어 데이터의 양이 줄어들면 프레임의 재생간격을 늘려 가용한 버퍼의 양으로 보다 오랜 시간 동안 미디어의 재생이 가능하도록 한다. 네



(그림 1) 양자화 파라미터와 프레임크기의 상관관계

트위크 장애가 복구되면 프리페칭 기법으로 빠르게 버퍼가 채워지기 때문에 적응적 미디어 재생 기법만 적용하는 경우보다 재생 지연 간격을 대폭 줄일 수 있다. 프리페칭과 적응적 미디어 재생 기법을 함께 사용함으로써 미디어의 화질 열화와 재생 지연을 최소화시킬 수 있다.

4.1 가정사항

본 논문에서는 스트리밍 서비스가 일반 인터넷을 기반으로 제공되는 것을 가정하며 따라서 고정적인 네트워크 대역폭을 가정할 수 없고 네트워크의 상태는 시시각각 변할 수 있다. 기존 연구들은 대부분 이런 환경에서 네트워크 적응적 QoS를 제공하는 것을 목표로 연구되었기 때문에 네트워크 상태에 변화가 심하면 QoS의 변화도 심해지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 최대한 일정한 QoS를 제공하는 것을 목표로 한다.

제안하는 PAP기법은 네트워크 상태에 따라 적응적으로 서비스를 제공하기 위해 여러 레벨로 실시간으로 트랜스코딩되는 것을 가정한다[18, 19]. 여기서 레벨은 트랜스코딩시 사용되는 양자화 파라미터의 값을 의미한다. 양자화 파라미터에 따라 서로 다른 화질과 비트율을 갖는 여러 레벨의 비디오 스트림이 생성가능하다. 레벨이 낮을수록 화질이 좋아지며 프레임의 크기도 커진다. 서버와 클라이언트는 실시간으로 가용 네트워크 대역폭을 측정하는 알고리즘을 이용하여 어느 정도의 네트워크 대역폭을 사용할 수 있는지를 아는 것으로 가정한다. 서버와 클라이언트 간의 가용 대역폭을 측정하는 여러 알고리즘들이 제안되어 있으며 본 논문에서는 특정한 알고리즘으로 제한하지 않는다[8].

4.2 프리페칭 기법

PAP 기법에서 제안하는 프리페칭은 3장에서 살펴본 미디어 압축기법의 특징에 기반한다. 미디어 데이터의 압축시 양자화 파라미터를 조절하여 화질을 약간만 열화시키도 출력되는 미디어 스트림의 많은 수의 비트가 줄어들어 동일한 네트워크 대역폭으로 보다 많은 프레임을 전송할 수 있다. 약간의 화질 열화를 감수하면 같은 네트워크 대역폭으로 보다 많은 프레임을 전송할 수 있기 때문에 네트워크 장애에 대비할 수 있다.

하나의 비디오 스트림은 NF(Number of Frames)개의 프레임을 가지며 트랜스코딩은 NQ(Number of Quantization Parameter)개의 양자화 파라미터를 갖을 수 있다. 하나의 스트림은 NQ개의 양자화 파라미터로 각각 인코딩되어 NQ개의 레벨을 생성할 수 있다. 레벨별 평균 프레임 크기는 3장에서 설명한 압축된 동영상 미디어의 특성을 따른다. 서버는 비디오 스트림의 프레임 전송율(FR, Frame Rate)에 따라 클라이언트로 프레임을 전송하기 때문에 프레임 전송 주기 $T = \frac{1}{FR}$ 가 된다. 즉 서버는 $\frac{1}{FR}$ 초마다 한 프레임씩 클라이언트로 전송한다.

임의의 시간 $t(0 \sim \frac{NF}{FR})$ 에 가용한 네트워크 대역폭(ANB,

Available Network Bandwidth)가 ANB_t 일 경우에 손실 없이 전송 가능한 레벨은 다음 조건을 만족하여야만 한다.

$$MFS * FR \leq ANB_t$$

평균 프레임 크기(MFS)와 프레임 전송율(FR)을 곱하면 전송하는 데이터의 양이 나오며 이것이 가용한 네트워크 대역폭(ANB)보다 커지면 손실이 발생하기 때문에 전송하는 데이터의 양은 가용한 네트워크 대역폭보다 같거나 작어야만 한다.

기존 연구들에서는 FR을 고정시키고 ANB에 따라 적합한 MFS를 찾아 제공하는 기법을 사용하였다. 제안하는 기법에서는 FR을 변화시켜 가용한 MFS의 범위를 다양화시킨다. 3장과 앞 절에서 살펴보았듯이 레벨이 높아지면 MFS가 작아져 보다 많은 프레임을 전송할 수 있다. 즉 가용한 네트워크 대역폭 ANB에 최소 프레임 전송율 FR로 전송가능한 평균 프레임 사이즈 MFS_{max} 를 위한 양자화 파라미터 QP_{max} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$QP_{max}(MFS_{max}) = GIPDF(MFS_{max}, \mu, \sigma)$$

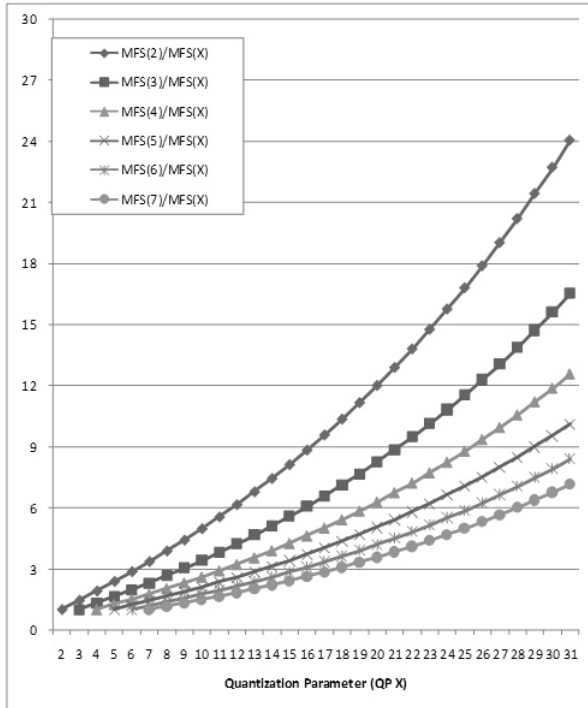
QP_{max} 와 NQ사이에 속하는 양자화 파라미터들을 가용 양자화 파라미터(AQP, Available Quantization Parameter)라고 하면 가용 양자화 파라미터로 인코딩된 레벨들은 위의 조건을 만족한다. 가용 양자화 파라미터는 다음과 같다.

$$AQP = \{QP | QP_{max} \leq AQP \leq NQ\}$$

임의시간 t에 가용한 네트워크 대역폭이 ANB_t 이면 AQP에 속하는 양자화 파라미터로 인코딩된 레벨들에 프레임 전송율 FRAQP은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$FR_{AGP} = \frac{ANB_t}{MFS(AQP_t)}$$

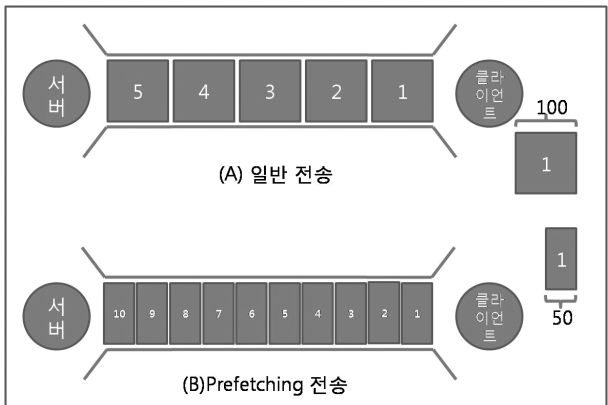
(그림 2)의 (A)는 (그림 1)에서 살펴본 프레임 크기에서 양자화 파라미터에 따른 MFS 차이를 보여주며 (그림 2)의 (B)는 그 중 일부를 추출한 결과이다. 양자화 파라미터 2로 압축된 프레임의 평균 크기 (MFS(2))는 10으로 압축했을 때의 프레임크기(MFS(10))인 경우의 5배, 31로 압축했을 때의 프레임 크기(MFS(31))의 24배가 된다. 즉 ANB가 양자화 파라미터 2로 압축된 프레임을 하나 전송할 수 있을 정도라면 양자화 파라미터 10으로 압축된 프레임 10개를, 양자화 파라미터 31로 압축된 프레임은 24개를 전송할 수 있다는 것이다. 본 논문에서 제안하는 프리페칭은 이에 기반한 것으로 (그림 3)은 이를 간략하게 보여준다.



QP X	2/X	3/X	4/X	5/X	6/X	7/X
2	1.0					
3	1.4	1.0				
4	1.9	1.3	1.0			
5	2.3	1.6	1.2	1.0		
6	2.8	1.9	1.5	1.2	1.0	
7	3.3	2.3	1.7	1.4	1.1	1.0
10	4.9	3.4	2.6	2.0	1.7	1.4
31	24.0	16.5	12.5	10.1	8.4	7.1

(a) (b)

(그림 2) 양자화 파라미터에 따른 프레임 크기 배율



(그림 3) Prefetching 전송기법

클라이언트는 수신버퍼에서 프레임 재생율(FR)로 프레임을 읽어간다. 일반적으로 프레임 재생율과 프레임 전송율은 같다. 즉 $T_{play} = \frac{1}{FR}$ 간격으로 프레임을 읽어간다. 따라서 클라이언트 버퍼에서는 프레임 전송율과 프레임 재생율의 차이만큼 프레임이 남게 된다. 임의의 시간 t에 클라이언트 버퍼에서 초과되는 프레임수(SFCB, Surplus Frame in Client Buffer)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SFCB(t) = FR_{AQP} - FR = \frac{ANB_i}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - FR$$

위 식에서 AQP_t 는 시간 t에 선택된 양자화 파라미터이다. 즉 수신되는 프레임율에서 재생하는 프레임율을 빼면 초과되는 프레임수를 구할 수 있다. 임의의 시간 t에 클라이언트 버퍼에 남아있는 프레임수(AFCB, Available Frames in Client Buffer)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$AFCB(t) = \sum_{i=0}^t SFCB(i) = \sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - FR \times t$$

버퍼에 남아 있는 프레임수는 재생시작 시간부터(t=0) 현재(t)까지 초과된 프레임수를 합하면 되며 이는 수신한 프레임수에서 재생된 프레임수를 제하면 된다.

위 식을 이용하면 임의의 시간 t에 버퍼에 남아있는 프레임(AFCB)으로 재생 가능한 시간(APT, Available Play Time)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$APT(t) = \frac{AFCB(t)}{FR} = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - FR \times t}{FR} = \frac{1}{FR} \sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - t$$

현재 버퍼에 남아있는 프레임수(AFCB(t))를 재생 프레임율(FR)로 나누면 해당하는 프레임율로 재생가능한 시간을 구할 수 있다.

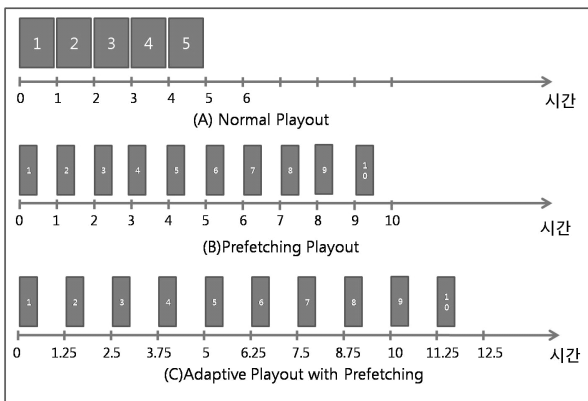
클라이언트는 APT시간만큼 프레임 수신하지 못하더라도 정상적인 재생이 가능한 것이다. AQP값이 커질수록 평균 프레임 크기(MFS)가 작아지기 때문에 APT가 길어진다. 따라서 가용한 네트워크 대역폭의 변화가 심하면 AQP값을 크게 할수록 화질의 변화를 최소화시킬 수 있다.

4.3 적응적 미디어 재생 기법

적응적 미디어 재생은 클라이언트가 오디오나 비디오의 재생 간격을 상황에 따라 조절하는 것이다. 클라이언트에서는 네트워크에 장애 발생여부에 따라 프레임의 재생간격을 늘리거나 줄여 버퍼 언더플로우가 발생할 확률을 줄인다. (그림 4)의 (A)와 (B)는 일반 재생과 적응적 재생의 비교예시를 보여주며 (C)는 앞절에서 설명한 프리페칭 기법과 본절에서 설명하는 적응적 미디어가 함께 사용된 경우를 보여준다. 일반 재생에서 프레임간 재생 간격을 1초로 재생한다면 10개의 프레임을 재생하는데에는 10초의 시간이 걸린다. 하지만 프레임간 재생 간격을 1.25초로 하여 재생하면 10개의 프레임을 재생하는데 12.5초가 걸려 동일한 프레임수로 일반 재생보다 2.5초 긴 시간 동안 재생할 수 있다.

네트워크 상에 장애가 없을 시에 클라이언트는 수신버퍼에서 일반 프레임 재생율(NFR, Normal Frame Rate)로 프레임을 읽어간다. 일반적으로 프레임 재생율과 프레임 전송율은 같다. 하지만 네트워크에 장애 발생하여 버퍼링된 패킷인 AFCB가 일정기준(MBT, Minimum Buffer Threshold) 이하($ACFB(t) < MBT$)일 경우 적응적 미디어 재생을 시작한다. 적응적 미디어 재생은 재생간격에 적응적 지연(APD, Adaptive Playout Delay)을 적용하여 계산한 적응적 프레임 재생율(AFR, Adaptive Frame Rate)간격($AFR = NFR \times APD$)으로 프레임을 읽어가게 된다. 지연된 재생 가능한 시간(DAPT, Delayed Available Play Time)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$DAPT(t) = \frac{AFCB(t)}{AFR} = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - FR \times t}{AFR}$$



(그림 4) Adaptive Playout with Prefetching

네트워크 장애가 복구되어 정상적으로 패킷이 수신되더라도 버퍼의 양인 AFCB가 버퍼량 기준인 MBT이하일 경우에는 적응적 미디어 재생을 지속해야만 한다. 기존 적응적 미디어 재생의 경우 서버의 도움없이 독립적으로 동작하기 때문에 버퍼링된 AFCB가 MBT이상($ACFB(t) > MBT$)이 되기 위해서는 지연(APD)으로 발생하는 프레임 이득의 양이

MBT와의 차이와 같아질 때($\sum \left(\frac{ANB_i}{MFS * NFR} - AFR \right) > MBT$) 까지 지연이 계속되어야만 한다. 따라서 일반적인 경우의 복구로 인한 지연 시간(DTR, Delay Time for Recovery)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$DTR = \frac{MBT - \sum \left(\frac{ANB}{MFS * NFR} - AFR \right)}{ANB}$$

하지만 본 논문에서 제안하는 PAP에서는 적응적 미디어 재생 기법이 독립적으로 사용되는 것이 아니라 서버에서 제공하는 프리페칭 기법과 같이 사용되기 때문에 복구로 인한 지연 시간(DTR)을 대폭 줄일 수 있다.

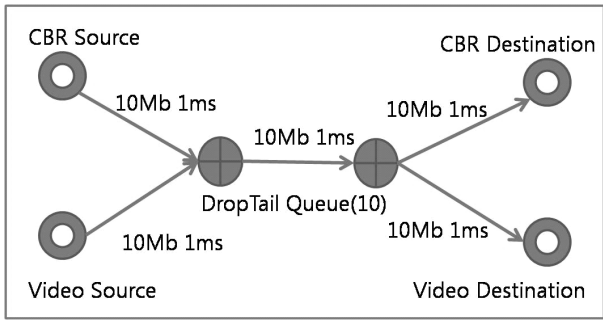
$$DTR_{PAP} = \frac{MBT - \sum \left(\frac{ANB}{GPDF(AQP_i, \mu, \sigma)} - AFR \right)}{ANB}$$

5. 성능 평가

5.1 실험환경

제안한 PAP기법의 성능을 평가하기 위하여 NS-2시뮬레이터를 사용하였으며 비디오 전송 성능을 평가하기 위하여 Evalvid와 Evalvid-RA툴을 사용하였다[1, 2, 22]. Evalvid툴은 비디오 전송의 성능을 측정하기 위해 개발된 툴이며 Evalvid-RA는 NS-2시뮬레이터에서 MPEG-4로 인코딩된 비디오 데이터의 레이트를 조절하면서 전송하는 것에 대한 성능을 측정할 수 있도록 Evalvid툴을 변형한 툴이다. 비디오 영상으로는 CIF크기(352x288)의 flower 영상 2000장을 사용하였으며 ffmpeg프로그램을 이용하여 MPEG-4로 트랜스코딩하였다[21]. 초당 프레임율은 30으로 하였으며 66초 정도의 시뮬레이션 시간이 걸리도록 하였다. 양자화 파라미터의 범위는 2~31사이에서Constant Quantization Parameter 옵션을 활성화 하였으며 Evalvid-RA툴을 이용하여 NS-2에서 필요한 데이터를 추출하였다[21].

실험을 위한 노드의 배치는 (그림 5)과 같이 하였다. Video Source가 스트리밍 서버가 되며 Video Destination이 스트리밍 클라이언트가 된다. Video Source와 Video Destination 사이에는 UDP를 이용하여 통신을 하도록 하였다. UDP의 최대 패킷 크기는 1000이며 1000보다 큰 프레임은 여러 패킷으로 나뉘어서 전송되도록 하였다. CBR Source는 경쟁 트래픽을 생성하기 위한 것으로 CBR Traffic을 어플리케이션



(그림 5) 실험환경

선으로 하여 임의적으로 CBR Destination 노드로 CBR 트래픽을 전송한다. CBR Destination에는 단순히 Null Agent가 있어서 수신한 패킷을 버리는 역할을 담당한다. CBR의 패킷 사이즈는 1000으로 하였으며 전송 인터벌은 0.0009로 하였다. CBR Source는 10~15초 사이와 20~40초 사이에 CBR Destination으로 일정한 비트 레이트의 데이터를 0.0009 간격으로 전송한다.

5.2 기본 실험

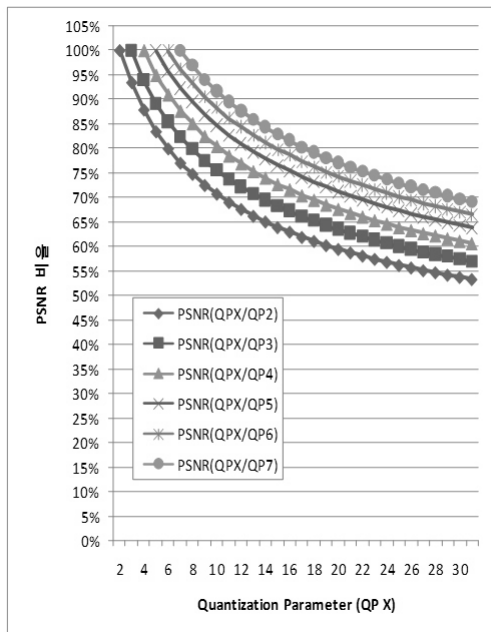
(그림 6)의 (A)는 양자화 파라미터에 따른 PSNR의 비율을 보여준다. PSNR을 비교한 결과를 보면 양자화 파라미터를 2로 한 경우에 최대 100%에서 양자화 파라미터가 31인 경우에 최소 50%정도 까지 차이가 나는 것을 볼 수 있으며 양자화 파라미터가 7인 경우에는 최소 70%정도까지 낮아지는 것을 볼 수 있다. (그림 6)의 (B)는 양자화 파라미터에 따른 평균 프레임 크기의 비율을 나타낸다. 양자화 파라미

터가 2인 경우를 최대로 하는 경우 양자화 파라미터가 31인 경우는 5%의 크기를 갖는 것으로 나타나 크기가 매우 작은 것을 알 수 있으며 양자화 파라미터가 7인 경우에는 최소 15%까지 크기가 줄어드는 것으로 나타났다. (그림 6)의 (A)와 (B)를 비교해보면 PSNR의 경우 최대치와 최소치가 100%에서 50~70%인 반면 평균 프레임 크기는 100%에서 5~15%까지 매우 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 양자화 파라미터를 크게 하는 경우 PSNR의 감소폭에 비해 프레임 크기의 감소폭이 크다는 것을 나타내는 것이며 이를 통하여 본 논문에서 제안하는 프리페칭 기법이 현실적으로 적용가능함을 알 수 있다.

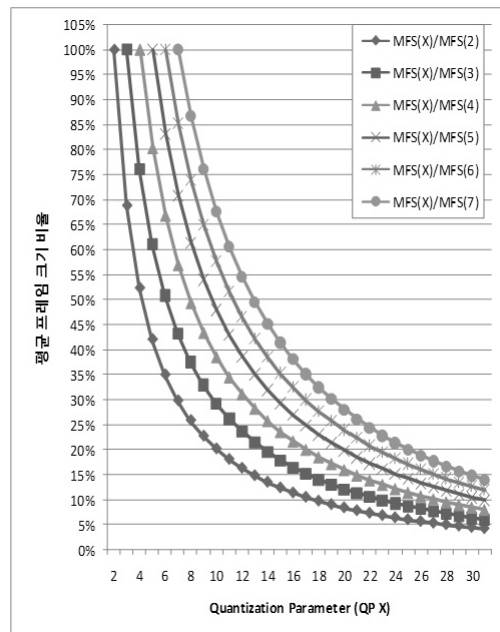
(그림 7)은 실험에서 사용된 예제 동영상인 Flower동영상의 한 프레임들을 각기 다른 양자화 파라미터로 압축하였을 때의 결과들 중 일부를 모아놓은 것이다. 앞서 (그림 6)에서 살펴본것처럼 양자화 파라미터를 증가시키더라도 화질에는 크게 영향이 미치지 않는 것을 확인할 수 있다. (그림 7)에 표시된 예시의 양자화 파라미터별 프레임크기와 PSNR을 비교한 결과를 도표로 <표 1>에 나타내었다. 양자화 파라미

<표 1> 실험 이미지의 특성 비교

양자화 파라미터 (QP)	2	5	10	31
평균 프레임크기(MFS)	29971	12763	5999	1291
프레임 크기 배율	1배	2.35배	5배	23.21배
PSNR	43.87	36.59	31	23.35
PSNR 비율	100%	83%	71%	53%
프레임 크기 비율	100%	43%	20%	4%



(A) PSNR비율



(B) 프레임 크기 비율

(그림 6) 양자화 파라미터에 따른 PSNR과 프레임 크기 비율



(A) 양자화 파라미터 2



(B) 양자화 파라미터 5



(C) 양자화 파라미터 10



(D) 양자화 파라미터 31

(그림 7) 실험 이미지의 양자화 파라미터별 프레임 예시

터블 2로 하는 경우를 기준으로 하였을 때 양자화 파라미터를 31로 하는 경우에는 평균 프레임 크기가 23배나 차이가 나지만 PSNR은 절반 정도만 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 양자화 파라미터를 2에서 최대 31로 증가시키는 경우 최대 23배의 속도로 프레임을 전송할 수 있으며 이는 PSNR로 50%정도의 화질 열화만 가져올 뿐이다.

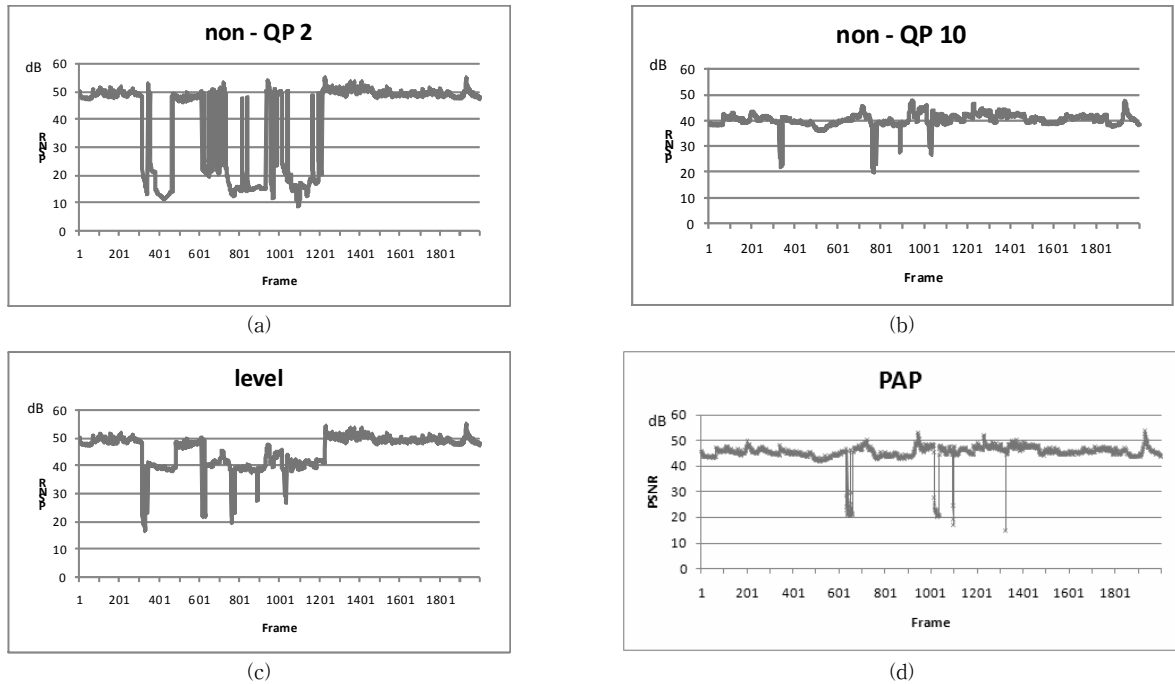
5.3 프리페칭 실험

(그림 8)는 2000프레임별 PSNR변화를 보여준다. CBR Source가 10~15초 사이와 20~40초 사이에 패킷을 전송하기 때문에 이 구간에서 가용 네트워크 대역폭이 감소하며 패킷손실이 발생한다. 이로 인하여 PSNR이 낮아지게 된다. (a)는 최상의 품질로 제일 큰 평균 프레임 크기를 갖는 경우로 CBR트래픽이 없는 경우에는 제일 좋은 화질을 제공할 수 있으나 CBR 트래픽이 있는 구간에서는 패킷 손실이 많이 발생하기 때문에 화질이 급격하게 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 이와 반대로 (b)의 경우에는 최하의 품질로 제일 작은 평균 프레임 크기를 갖는 경우로 (a)에 비해 10 정도 낮은 화질을 제공하고 있다. 하지만 CBR 트래픽이 있는 구간에서 약간의 화질열화만을 보일뿐 대체적으로 일정한 화질을 제공할 수 있다. (a)는 가장 좋은 성능을, (b)는 가장 나쁜 성능을 보여주는 기준으로 삼는다.

(그림 8)의 (c)는 가용한 네트워크 대역폭에 따라 전송되는 레벨을 조절하는 기법의 결과를 보여준다. CBR 트래픽이 없는 구간에서는 제일 낮은 레벨(양자화 파라미터 : 2)을

전송하기 때문에 제일 높은 화질을 보이고 있으며 CBR 트래픽이 발생하는 구간에서는 제일 높은 레벨(양자화 파라미터 : 10)을 전송하여 화질이 낮아지고 있지만 (그림 8)의 (a)에 비해서는 CBR 트래픽 발생구간에서 매우 높은 화질을 안정적으로 제공하는 것을 알 수 있으며 (그림 8)의 (b)에 비해서는 CBR 트래픽이 없는 구간에서 높은 화질을 제공하여 두 가지 경우보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

(그림 8)의 (d)는 PAP 기법의 성능을 보여주는데 제안 기법에서는 CBR 트래픽이 없는 경우에 중간 레벨(양자화 파라미터 : 4)의 프레임을 2배 빠르게 전송토록 하였다. 표 1에서 보듯이 양자화 파라미터가 4인 경우와 2인 경우 평균 프레임의 크기가 2배 차이가 나기 때문에 2배 빠르게 전송하더라도 두 가지 경우에 비슷한 양의 데이터가 전송된다. CBR트래픽이 발생하는 경우에는 전송주기를 1/2로 하여 느리게 전송되도록 하여 패킷 손실을 줄이도록 하였다. CBR 트래픽이 10초에 시작하기 때문에 다른 그래프들(그림 10의 a~c)에서는 300번째 프레임(10초 * 30 프레임율)정도부터 PSNR에 변화가 발생하고 있지만 제안 시스템의 성능을 나타내는 (그림 8)의 (d)의 경우에는 두배인 600번째 프레임(10초 * 60 프레임율) 정도에서 PSNR에 약간의 변화가 발생하고 있다. 이는 앞서 설명하였듯이 제안 기법에서는 2배 빠르게 패킷을 전송하기 때문에 CBR트래픽이 발생하는 10초경에는 다른 기법들의 2배인 600개의 프레임이 전송된 상태이기 때문이다. 초기 10초 동안에 300개의 추가적인 패킷이 전송되었기 때문에 10초부터 5초동안 네트워크 상태 변



(그림 8) PSNR비교

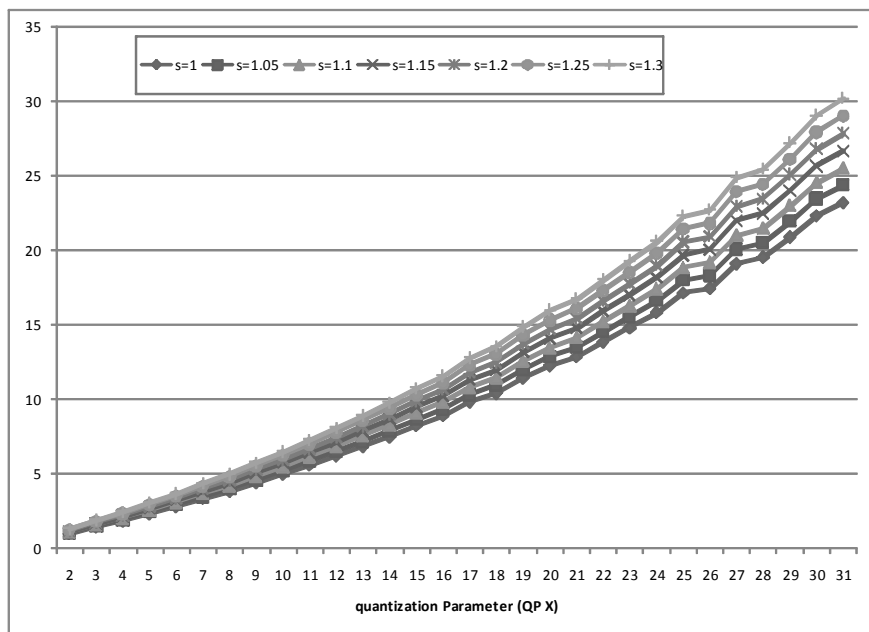
화에도 일정한 화질을 제공할 수 있는 것이다. (그림 8)의 (d)에서 PSNR이 약간씩 떨어지는 것은 CBR트래픽 발생 구간에서 일부의 패킷이 손실되기 때문인데 이 영향이 크기 않음을 확인할 수 있다.

5.4 적응적 미디어 재생 기법

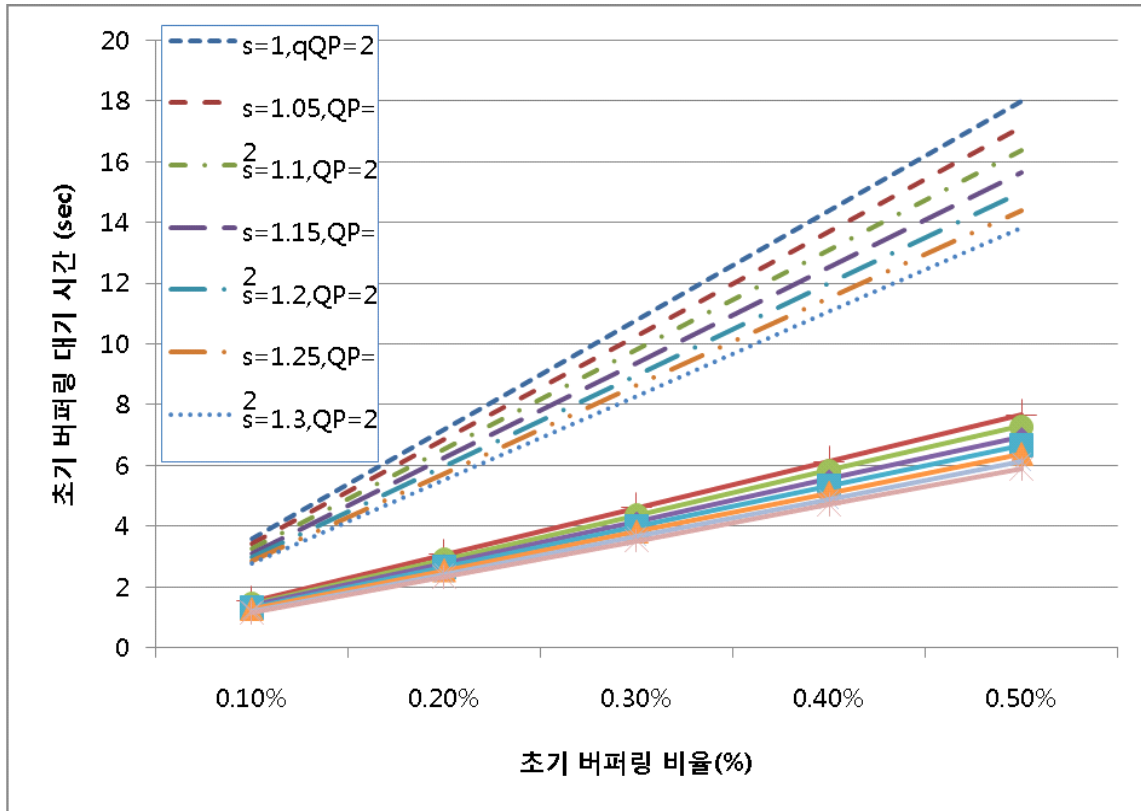
Flower영상을 2~31사이의 양자화 파라미터별로 인코딩한 후 평균 프레임 크기를 구하여 양자화 파라미터에 따른

프레임 크기에 기반하여 적응적 미디어 재생을 위한 재생 지연(s)을 주었을 때의 가용시간 변화를 비교한 결과를 (그림 9)에 나타내었다. (그림 1)에서 나타낸 계산에 의한 결과치와 비교해볼 때 양자화 파라미터가 큰 경우 약간의 차이가 있으나 전체적으로 계산에 의한 값과 비슷하게 나타남을 볼 수 있다.

그림에서 보듯이 재생 지연을 적용하지 않는 경우 양자화 파라미터를 2로 하였을 경우와 31로 했을 경우 24배 이상의



(그림 9) Delay에 따른 가용시간 차이



(그림 10) 초기 버퍼링 시간 감소 효과

크기가 나는 것을 볼 수 있으며 양자화 파라미터를 7로 한 경우와 31로 한 경우에도 7배 이상의 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이는 최대 24배 빠르기로 프레임을 전달할 수 있다는 것을 의미하며 결과적으로 최대 24배의 시간 동안 끊임없는 서비스가 가능하다는 것을 의미한다. 여기에 재생 지연을 최대 30%까지 적용하면 끊임없이 서비스 가능한 시간은 30배까지 증가하는 것을 그림에서 볼 수 있다. 여기서 24배에서 30배로의 서비스 가용시간 증가는 네트워크 대역폭의 사용량 증가없이 클라이언트의 독립적인 동작으로 이루어지는 것으로 네트워크 트래픽을 증가시키지 않기 때문에 더욱 효율적이라 할 수 있다.

PAP기법에서 제안하는 프리페칭과 적응적 미디어 재생 기법을 이용하면 미디어 스트리밍 서비스 이용시 발생하는 초기 버퍼링 시간을 크게 단축시킬 수 있다. (그림 10)은 프리페칭과 적응적 미디어 재생을 통해 초기 버퍼링 대기시간을 감소시키는 것을 보여준다. 양자화 파라미터를 2로 하는 경우와 5로 하는 경우 각각 적응적 미디어 재생의 재생간격을 최대 30%까지 증가시켜서 버퍼링 비율에 따른 대기시간을 측정하였다. 적응적 미디어 재생기법 없이 프리페칭기법만을 적용하였을 경우(s=1) 양자화 파라미터를 2에서 5로 증가시키면 초기 대기시간이 최대 (버퍼링 0.5% 인 경우) 18초에서 8초로 44%정도로 감소하는 것을 볼 수 있다. 여기에 적응적 미디어 재생을 더하게 되면 초기 대기시간이 18초에서 6초로 감소하여 30%대로 감소하는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

비디오 영상을 실시간으로 사용자에게 전달하는 미디어 스트리밍 시스템에서 다루는 비디오 데이터는 시간적 제약을 갖기 때문에 제한된 시간 내에 실시간으로 사용자에게 전달되어야만 한다. 비디오 데이터는 다른 데이터들에 비해 크기가 매우 크고 높은 네트워크 대역폭과 많은 컴퓨터 자원을 필요로 하며 이를 가변적인 네트워크 대역폭을 갖는 인터넷을 통해 제공할 경우 비디오 데이터의 QoS에 대한 고려가 필요하다.

본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 끊임없는 미디어 스트리밍을 보장하는 PAP을 제안하였다. 제안하는 PAP기법에서는 서버 측에서 네트워크 장애에 대비하여 미디어 데이터를 미리 전송하는 프리페칭 기법을 사용하며 클라이언트에서는 장애발생시 프리페칭된 미디어 데이터의 재생간격을 적응적으로 조절하여 재생하도록 하였다. PAP기법에서 사용되는 프리페칭은 미디어 데이터의 화질을 약간만 열화시키도 많은 수의 비트가 줄어드는 미디어 압축기법의 특성에 기반한다. 약간의 화질 열화를 감수하면 같은 네트워크 대역폭으로 보다 많은 프레임을 전송할 수 있기 때문에 네트워크 장애에 대비할 수 있도록 하였다. 클라이언트에서는 네트워크에 장애 발생여부에 따라 프레임의 재생간격을 늘리거나 줄여 버퍼 언더플로우가 발생할 확률을 줄인다. 프리페칭과 적응적 미디어 재생 기법을 함께 사용함

으로써 미디어의 화질 열화와 재생 지연을 최소화시킬 수 있다. 향후에는 최근 각광받고 있는 H.264와 SVC에 적용하여 보다 다양한 어플리케이션과 환경에서 적용해볼 예정이며 유선환경뿐만 아니라 무선환경에 적용하는 것도 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] J.B. and A., "EvalVid - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation," *In Proc. of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, pp.255-272, Urbana, Illinois, USA, September, 2003.
- [2] A. Lie, and J., "Evalvid-RA: Trace Driven Simulation of Rate Adaptive MPEG-4 VBR Video," *Multimedia Systems*, November, 2007.
- [3] S. Lee and K. Chung, "Buffer-driven Adaptive Video Streaming with TCP-Friendliness," *Computer Communications*, Vol.31, Issue 10, pp.2621-2630, 2008. 6.
- [4] Junli Yuan, Qibin Sun, "An Efficient Mechanism for Video Streaming over Wide-Area Networks," *ISM 2006*: 465-474
- [5] S. Lee and K. Chung, "Quality Adaptation with Temporal Scalability for Adaptive Video Streaming," *ICOIN 2007*, LNCS 4883, pp.691-700, Springer-Verlag Press, 2008.
- [6] Pai, C.Y., Lynch, W.E., "MPEG-4 constant-quality constant-bit-rate control algorithms," *SP:IC(21)*, No.1, January, 2006, pp.67-89.
- [7] Pai, C.Y., Lynch, W.E., "Constant-Quality CBR Rate-Control Algorithms for MPEG-4 Video Transcoding," *ICIP06* (841-844)
- [8] R. S. Prasad, M. Murray, C. Dovrolis, K. Claffy, "Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools," *IEEE Network*, November/December, 2003.
- [9] N. Laouaris, I. Stavrakakis, "Adaptive playout strategies for packet video receivers with finite buffer capacity," *in Proc. IEEE ICC'01*, Vol.3, 2001, pp.969-973.
- [10] Chih-Heng Ke, Ce-Kuen Shieh, Wen-Shyang Hwang, Artur Ziviani, "A Two Markers System for Improved MPEG Video Delivery in a DiffServ Network", *IEEE Communications Letters*, IEEE Press, ISSN: 1089-7798, Vol.9, No.4, pp.381-383, April, 2005.
- [11] J. Naoum-Sawaya, B. Ghaddar, S. Khawam, H. Safa, H. Artail, and Z. Dawy, "Adaptive Approach for QoS Support in IEEE 802.11e Wireless LAN," *in IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2005)*, Montreal, Canada, August, 2005.
- [12] H. Huang, J. Ou, and D. Zhang, "Efficient Multimedia Transmission in Mobile Network by using PR-SCTP", *Communications and Computer Networks (CCN 2005)*
- [13] A. Lo, G. Heijenk, I. Niemegeers, "Performance Evaluation of MPEG-4 Video Streaming over UMTS Networks using an Integrated Tool Environment", *Proceedings SPECTS 2005*.
- [14] Vasos Vassiliou, Pavlos Antoniou, Iraklis Giannakou, and Andreas Pitsillides "Requirements for the Transmission of Streaming Video in Mobile Wireless Networks", *International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)*, Athens, Greece, September, 10-14, 2006.
- [15] W.C. Feng, J. Rexford, "Performance Evaluation of Smoothing Algorithms for Transmitting Prerecorded Variable-Bit-Rate Video", *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol.1, No.3, September, 1999, pp.302-313.
- [16] S. Lee and K. Chung, "TCP-Friendly Rate Control Scheme Based on RTP," *ICOIN 2006*, LNCS 3961, pp. 660-669, Springer-Verlag Press, 2006.
- [17] Zhijun Lei, Nicolas D. Georganas "Adaptive video transcoding and streaming over wireless channels." *Journal of Systems and Software*75(3): 253-270 (2005), 117.
- [18] A. Vetro, C. Christopoulos, and H. Sun, "Video transcoding architectures and techniques: an overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.20, No.2, pp.18-29, 2003. 3.
- [19] Jen-Chun Chiang, Hsiang-Fu Lo, Wei-Tsong Lee, "Scalable Video Coding of H.264/AVC Video Streaming with QoS-Based Active Dropping in 802.16e Networks." *AINA Workshops 2008*.
- [20] <http://ffmpeg.mplayerhq.hu/>
- [21] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [22] M. Kalman, E. Steinbach, and B. Girod, "Adaptive Media Playout for Low Delay Video Streaming over Error-Prone Channels," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.14, No.6, pp.841-851, June, 2004.
- [23] E. Steinbach, Y. Liang, M. Kalman, B. Girod, "Adaptive Media Playout," in P. Chou and M. van der Schaar (eds.), *Multimedia over IP and Wireless Networks: Compression, Networking, and Systems*, Elsevier / Academic Press, ISBN 978-0-12-088480-3, May, 2007.
- [24] M. Kalman, E. Steinbach, and B. Girod, "R-D Optimized Media Streaming Enhanced with Adaptive Media Playout," *International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2002*, Lausanne, August, 2002.
- [25] T. Chiang and Ya-Qin Zhang, "A new rate control scheme using quadratic rate distortion model," *Special Issue on MPEG-4: IEEE Trans, on CSVT*, February, 1997.
- [26] Ding, W. and Liu, B., Rate control of MPEG video coding and recording by rate-quantization modeling, *IEEE Trans, Circuits Systems Video Technol*, v6, 12-20, 1996.



이좌형

e-mail : Jinnie4u@kangwon.ac.kr
2003년 강원대학교 정보통신공학과(공학사)
2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(공학석사)
2005년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과 박사과정

관심분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



정인범

e-mail : ibjung@kangwon.ac.kr
1985년 고려대학교 전자공학과(학사)
1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터 시스
템사업부 선임연구원
1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신공
학과(석사)

1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과(박사)

2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

관심분야: 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서
네트워크