

미디어 스트리밍에서 일정한 QoS보장을 위한 네트워크 적응적 프리페칭 기법

이 좌 형[†] · 정 인 범^{††}

요 약

최근 컴퓨팅 기술과 네트워크 기술의 발전으로 초고속 인터넷의 보급되고 있지만 인터넷에서 높은 대역폭을 필요로 하는 미디어를 스트리밍하는 것은 아직 매우 어려운 일이다. 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 상태에 따라 적응적으로 동작하는 프리페칭을 통하여 일정한 QoS를 보장하고자 하는 NAP(Network Adaptive Prefetching)기법을 제안한다. 제안하는 NAP기법은 네트워크의 가용한 대역폭이 높을 경우 프레임 재생률보다 빠르게 프레임을 전송시키는 방식으로 프리페칭을 한다. 이렇게 프리페칭된 프레임은 대역폭이 낮아지는 경우에 QoS를 일정한 수준으로 유지하는데 사용된다. 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

Network Adaptive Prefetching for Constant QoS Guarantee in Media Streaming

Joa-Hyoung Lee[†] · In-Bum 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, NAP, for guarantee of constant QoS. The NAP prefetches frames by increasing the frame transmission rate while the available network bandwidth is high. The NAP uses the prefetched frames to guarantee the QoS while the available network bandwidth is low. The experiment result shows that the proposed NAP 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

1. 서 론

비디오 영상을 실시간으로 사용자에게 전달하는 미디어 스트리밍 시스템에서 다루는 비디오 데이터는 시간적 제약을 갖기 때문에 제한된 시간 내에 사용자에게 전달되어야만

한다. 비디오 데이터는 다른 데이터들에 비해 크기가 매우 크고 높은 네트워크 대역폭과 많은 컴퓨팅 자원을 필요로 하며 이를 가변적인 네트워크 대역폭을 갖는 인터넷을 통해 제공할 경우 비디오 데이터의 QoS(Quality of Service)에 대한 고려가 필요하다[3].

멀티미디어 스트리밍에서 비디오 데이터는 시간적 제약을 가지며 데이터의 손실에 민감하다. 네트워크 혼잡으로 인하여 패킷이 손실되거나 늦게 도착하면 비디오 데이터에 열화가 발생하여 사용자가 느끼는 QoS가 떨어진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 연구들이 진행되어 왔는데 대

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

† 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

†† 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)

논문접수 : 2008년 9월 4일

수정일 : 1차 2008년 10월 29일

심사완료 : 2008년 11월 10일

부분의 연구들은 네트워크의 변화에 따라 전송되는 비디오 스트림을 조절하여 데이터의 손실과 지연을 방지하는데 중점을 두고 있다[9].

이러한 기법들의 공통점은 네트워크 상태가 안좋아지면 화질이 떨어지는 스트림을 전송하고 네트워크 상태가 좋아지면 화질이 좋은 스트림을 전송하는 것이다. 스트림의 화질이 네트워크 적응적으로 변하는 것이다. 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[13].

본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 최대한 일정한 수준의 QoS를 보장하는 네트워크 적응적 프리페칭 기법(NAP, Network Adaptive Prefetching)을 제안한다. 제안하는 NAP기법에서는 초기뿐만 아니라 스트리밍이 진행되는 동안에도 대역폭에 여유가 있을 때마다 지속적으로 프리페칭을 시도한다. 제안하는 NAP기법에서는 일정한 비트 레이트로 일정한 화질을 제공하는 CQ-CBR(Constant Quality - Constant Bit Rate)로 인코딩된 비디오 영상을 이용하여 최대한 일정한 수준의 QoS를 보장하는 것을 목표로 한다. VOD서버에서는 최상의 품질로 인코딩된 비디오 데이터를 저장 관리하며 가용한 네트워크 대역폭을 바탕으로 양자화 파라미터값을 조절하여 여러 레벨의 CQ-CBR 비디오 스트림으로 트랜스코딩 시킨후 프레임 전송을 조절을 통하여 프리페칭을 한다. 가용한 네트워크 대역폭이 높은 경우 대역폭보다 보다 낮은 비트 레이트를 갖는 레벨의 스트림을 빠르게 프리페칭하여 네트워크 대역폭이 낮아지더라도 최대한 일정한 QoS를 유지할 수 있도록 한다.

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

2. 관련연구

현재의 인터넷은 통신하는 노드들 사이에 패킷을 전달하기 위해서 최선의 노력(Best Effort)을 하지만 정확한 전달을 보장하지는 않는다. 이러한 인터넷에서 스트리밍 서비스를 위하여 네트워크의 가용한 대역폭을 측정하고 가용한 대역폭을 초과하지 않도록 비디오 스트림의 비트 레이트를 줄이는 기법이 주를 이룬다[4,5]. 비디오 스트림의 비트 레이트

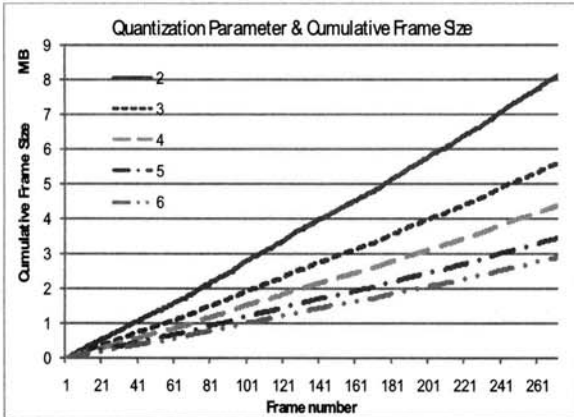
를 줄이는 가장 단순한 방법으로는 여러 비트 레이트를 갖는 여러 레벨의 스트림을 저장하고 가용한 대역폭에 따라 적합한 레벨에서 데이터를 읽어 전송하는 방식이 있다[10-12]. 이 방식은 이미 인코딩되어 저장되어 있는 스트림에서 선택적으로 데이터를 전송하기 때문에 서버에서의 오버헤드는 적으나 얼마나 많은 레벨로 나뉘어져 있는가에 따라 네트워크 변화에 대한 적응도가 달라진다. 최근에는 컴퓨팅 기술의 발전으로 비디오 스트림의 비트 레이트나 해상도와 같은 특성을 실시간으로 변환하여 전송하는 트랜스코딩 기법이 도입되고 있다[18,19]. 최근 대두되고 있는 SVC(Scalable Video Coding)기법에서는 동영상 압축기법에 이러한 기능들을 추가하고 있다[20]. 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.

3. CQ(Constant Quality) 동영상의 특징

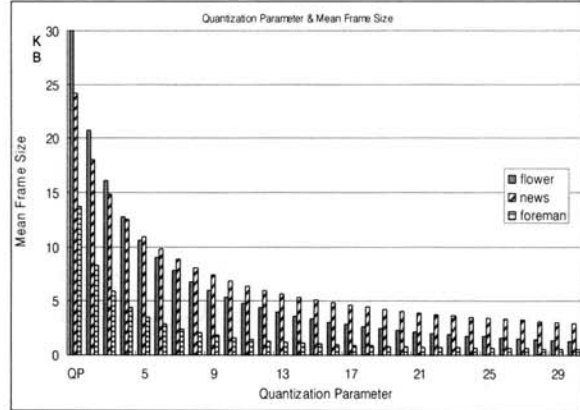
CQ(Constant Quality) 동영상은 영상의 내용이나 움직임 등에 따라 비트율에 변화가 발생하는 단점이 있지만 일정한 품질을 제공하는 장점이 있다. CQV의 이런 특징은 양자화 단계에서 사용되는 양자화 파라미터(QP, Quantization Parameter)를 일정하게 유지하기 때문에 일정한 품질을 제공할 수 있지만 영상의 내용이나 움직임 등에 변화가 많으면 생성되는 비트율도 변하기 때문이다. CQV에서는 압축하는 영상의 내용에 따라 비트율이 달라지지만 하나의 동영상 내에서는 거의 일정한 비트율을 제공할 수 있다. 이런 영상을 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. 압축에는 ffmpeg 프로그램에서 고정 양자화 파라미터 옵션(cqp, constant quantization parameter rate control method)을 활성화하여 사용하였다. 양자화 파라미터의 범위는 2에서 31사이로 하였으며 양자화 파라미터가 작을수록 압축된 영상의 화질은 좋아지며 비트율도 높아진다. (그림 1)의 (a)는 세 영상중 flower영상을 압축하였을 때 양자화 파라미터(2~5)별 프레임의 누적 크기를 보여준다. (그림 1)의 (a)에서 볼 수 있듯이 양자화 파라미터가 커질수록 누적 프레임 크기는 작아지지만 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 양자화 파라미터가 일정하면 일정한 품질을 유지하면서 어느 정도 일정한 비트율을 제공할 수 있다.

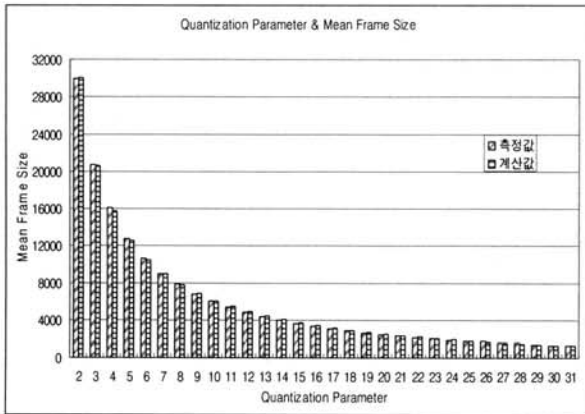
(그림 1)의 (b)는 세 영상의 양자화 파라미터별 평균 프레임 크기를 보여준다. 평균 프레임 크기가 영상별로 약간의 차이가 있기는 하지만 세 영상이 비슷한 모양을 나타낼 수 있다. 이를 통하여 영상의 종류에 따라 평균 프레



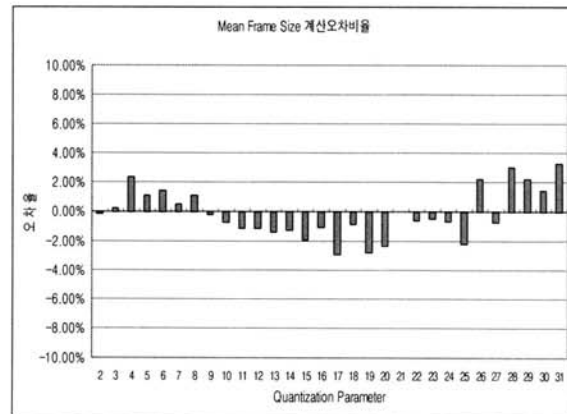
(a) 양자화 파라미터와 누적 프레임 크기



(b) 양자화 파라미터와 평균 프레임 크기



(c) 양자화 파라미터와 평균 프레임 크기의 예측



(d) 양자화 파라미터와 프레임 크기 예측 오차

(그림 1) 양자와 파라미터와 프레임크기의 상관관계

임 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 프레임크기를 위한 양자화 파라미터를 유추할 수도 있다.

본 논문에서는 감마분포(Gamma Distribution)를 이용하여 양자화 파라미터와 평균 프레임 크기간의 관계를 분석하였다. 식(1)은 감마분포의 확률밀도 함수(GPDF, Gamma Probability Density Function)이다.

$$GPDF(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \ell^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

여기서 α 는 모양 파라미터이며 β 는 크기 파라미터이다.

$\Gamma(\alpha)$ 는 감마함수로 $\int_0^\infty x^{\alpha-1} \ell^{-x} dx$ 이다.

동영상의 양자화 파라미터(QP, Quantization Parameter) 별 평균 프레임 크기(MFS, Mean Frame Size)는 감마분포를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$MFS(QP) = C * GPDF(QP, \alpha, \beta) \quad (2)$$

여기서 C는 영상의 복잡도를 나타낸다.

식(2)를 통하여 양자화 파라미터별 평균 프레임 크기를 구할 수 있다. 그림 1의 (c)는 flower 영상의 양자화 파라미터별 평균 프레임 크기를 감마분포로 계산한 예시를 보여준다. 식(2)에서 $\alpha=0.15, \beta=1.1$ 로 설정하였으며 $C=20000$ 으로 설정하였다. 그림1의 (c)에서 실제 측정치와 감마분포를 이용한 계산값이 거의 일치함을 볼 수 있다. 그림 1의 (d)는 측정치와 계산값의 오차를 보여준다. 오차가 최대 $\pm 3\%$ 내에서 발생함을 볼 수 있으며 이를 통하여 식(2)를 통하여 양자화 파라미터에 따른 평균 프레임 크기를 정확하게 예측할 수 있음을 알 수 있다.

반대로 특정한 프레임 크기를 위한 양자화 파라미터 값을 구하기 위해서는 감마분포의 역확률밀도 함수(GIPDF, Gamma Inverse Probability Density Function)를 이용하면 된다(식(3)).

$$GIPDF(x, \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{1}{x}\right)^{\alpha+1} \exp\left(-\frac{\beta}{x}\right) \quad (3)$$

식(3)을 식(2)에 적용하면 다음과 같이 양자화 파라미터

(QP)를 구할 수 있다.

$$QP(MFS) = \frac{GIPDF(MFS, \alpha, \beta)}{C} \quad (4)$$

4. Network Adaptive Prefetching(NAP)

본 제안하는 NAP기법에서는 3장에서 살펴본 일정한 비트 레이트로 일정한 화질을 제공하는 CQ-CBR(Constant Quality - Constant Bit Rate)로 인코딩된 비디오 영상을 이용하여 최대한 일정한 수준의 QoS를 보장하는 것을 목표로 한다. 일반적으로 프리페칭을 위해서는 스트림의 비트 레이트보다 높은 네트워크 대역폭을 필요로 한다. NAP기법에서는 네트워크 대역폭을 추가적으로 사용하지 않고 가용한 대역폭 내에서 스트림의 레벨을 낮추고 프레임 전송율을 높임으로써 프리페칭을 한다. 가용한 네트워크 대역폭이 높은 경우 대역폭보다 보다 낮은 비트 레이트를 갖는 레벨의 스트림을 빠르게 프리페칭하여 네트워크 대역폭이 낮아지더라도 최대한 일정한 QoS를 유지할 수 있도록 한다.

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 NAP기법은 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 세부 개념

4.2.1 기본개념

하나의 비디오 스트림은 NF(Number of Frames)개의 프레임 임을 가지며 트랜스코더는 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 CQ-CBR을 따른다. 서버는 비디오 스트림의 프레임 전송율(FR, Frame Rate)에 따라 클라이언트로 프레임을 전송하기 때문에 프레임 전송주기 $T = \frac{1}{FR}$ 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 ANBt 일 경우에 손실 없이 전송 가능한 레벨은 다음 조건을 만족하여야만 한다.

$$MFS * FR \leq ANB, \quad (5)$$

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 MFSmax를 제공하는 레벨(식(5)를 만족하는 레벨)을 Lmax 라고 하면 MFSmax 를 위한 양자화 파라미터 QPmax 는 식(4)를 통하여 구할 수 있다.

$$QP_{max}(MFS_{max}) = \frac{GIPDF(MFS_{max}, \alpha, \beta)}{C} \quad (6)$$

QPmax 와 NQ사이에 속하는 양자화 파라미터들을 가용 양자화 파라미터(AQP, Available Quantization Parameter)라고 하면 가용 양자화 파라미터로 인코딩된 레벨들은 식(5)를 만족한다. 가용 양자화 파라미터는 다음과 같다.

$$AQP = \{QP | QP_{max} \leq AQP \leq NQ\} \quad (7)$$

임의시간 t에 가용한 네트워크 대역폭이 ANBt이면 AQP에 속하는 양자화 파라미터로 인코딩된 레벨들에 프레임 전송율 FR_{AQP}은 식 (2)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$FR_{AQP} = \frac{ANB_t}{MFS(AQP_t)} = \frac{ANB_t}{(C * GPDF(AQP_t, \alpha, \beta))} \quad (8)$$

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.

$$SFCB(t) = FR_{AQP} - FR = \frac{ANB_t}{(C * GPDF(AQP_t, \alpha, \beta))} - FR \quad (9)$$

위 식에서 AQP_t는 시간 t에 선택된 양자화 파라미터이다. 임의의 시간 t에 클라이언트 버퍼에 남아있는 프레임수 (AFCB, Available Frames in Client Buffer) 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$AFCB(t) = \sum_{i=0}^t SFCB(i) = \sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{(C * GPDF(AQP_i, \alpha, \beta))} - FR * t \quad (10)$$

식 (10)을 이용하면 임의의 시간 t에 버퍼에 남아있는 프레임(AFCB)으로 재생 가능한 시간(APT, Available Play Time)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$APT(t) = \frac{AFCB(t)}{FR} = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{(C * GPDF(AQP_i, \alpha, \beta))} - FR * t}{FR}$$

$$= \frac{1}{FR} \sum_{i=0}^t \frac{ANB_i}{(C * GPDF(AQP_i, \alpha, \beta))} - t \quad (11)$$

클라이언트는 APT시간만큼 프레임을 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.

4.2.2 확장

4.2.2.1 네트워크 대역폭이 커지는 경우

임의의 시간 t에 가용한 네트워크 대역폭(ANB_t)가 이전 시간에 가용했던 네트워크 대역폭(ANB_{t-1})보다 큰 경우 (ANB_t ≥ ANB_{t-1})에는 평균 양자화 파라미터(MQP, Mean Quantization Parameter)에 따라 달라진다. 평균 양자화 파라미터(MQP)는 스트리밍 서비스 동안의 양자화 파라미터의 평균값으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$MQP_t = \frac{\sum_{i=0}^t QP_i}{t} \quad (12)$$

만약 임의의 시간 t의 양자화 파라미터(QP_t)가 평균 양자화 파라미터(MQP_t)보다 크다면 양자화 파라미터를 감소시켜 스트리밍 서비스의 화질이 평균에 가까워지도록 한다. 반대로 평균 양자화 파라미터보다 작다면 현재의 양자화 파라미터값을 유지시켜 평균적인 스트리밍 서비스 품질이 높아지도록 한다. 이 경우에는 프레임 전송율은 증가한다.

4.2.2.2 네트워크 대역폭이 작아지는 경우

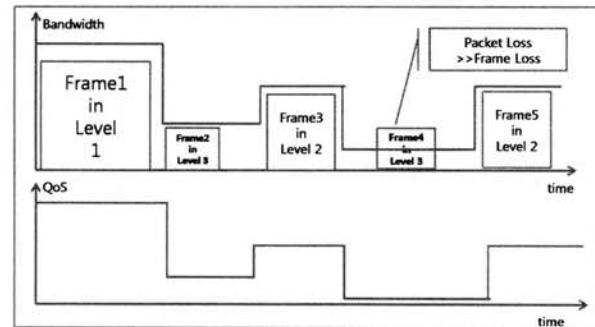
임의의 시간 t에 가용한 네트워크 대역폭(ANB_t)가 이전 시간에 가용했던 네트워크 대역폭(ANB_{t-1})보다 작은 경우 (ANB_t ≤ ANB_{t-1})에는 버퍼에 남아있는 프레임(AFCB)으로 재생 가능한 시간(APT)동안에는 양자화 파라미터(QP)는 변

경하지 않는다. 가용한 네트워크 대역폭(ANB_t)이 작아지는데 양자화 파라미터(QP_t)가 변하지 않으면 프레임 전송율(FR)이 감소한다. 만약 APT시간 동안에 이전의 대역폭으로 회복되지 않는다면 4.2.1절에서 제시된 방법에 따라 새로운 양자화 파라미터를 설정한다. 만약 가용한 네트워크 대역폭(ANB_t)이 매우 낮아 현재의 양자화 파라미터(QP)를 유지하기 힘든 경우에는 양자화 파라미터(QP)를 증가시키고 프레임 전송율(FR)을 낮추어 손실을 최소화시킨다.

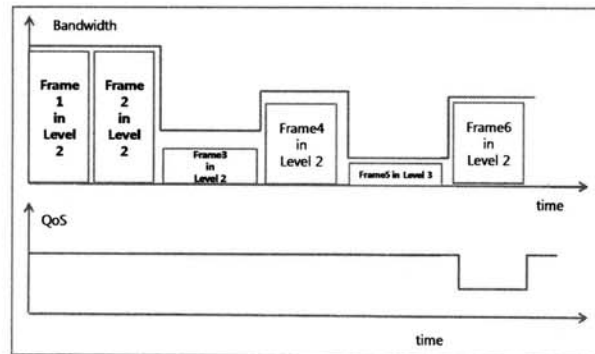
4.3 동작예시

네트워크 적응적 스트리밍 기법에서는 네트워크 상태에 따라 네트워크 대역폭에 적합한 레벨로부터 스트리밍 서비스를 제공한다. (그림 2)의 (a)는 네트워크 대역폭이 변하는 경우 레벨을 조절하여 스트리밍 서비스를 제공하는 예시를 보여준다. 예시에서는 최대 3개의 레벨을 갖는 것으로 가정하였으며 전송 주기별로 가용 네트워크 대역폭에 적합한 레벨로부터 프레임을 전송하는 것으로 가정하였다. 그림 2의 (a)에서는 가용 네트워크 대역폭에 따라 레벨1과 레벨3으로부터 선택적으로 프레임을 전송하는 예시를 보여준다. 예시에서 네트워크 상태가 변함에 따라 전송되는 프레임이 레벨 1에서 레벨3로 변화하였으며 이는 화질도 최상품질에서 최하 품질로 변화하였음을 의미한다.

제한하는 NAP기법에는 네트워크 상태에 따라 레벨을 변화시키는 것이 아니라 프레임간 전송간격을 조절하여 최대한 일정한 QoS를 유지하고자 한다. 그림 2의 (b)는 NAP기



(a) 네트워크 적응적 Level 조절



(b) NAP의 전송간격 조절

(그림 2) NAP기법의 동작방식

법에서 전송 간격을 조절하여 일정한 QoS를 제공하는 예시를 보여준다. NAP 기법의 예시에서는 레벨2의 프레임들을 전송간격을 조절하면서 전송하여 네트워크 상태에 상관없이 중간품질의 화질을 일정하게 제공할 수 있다.

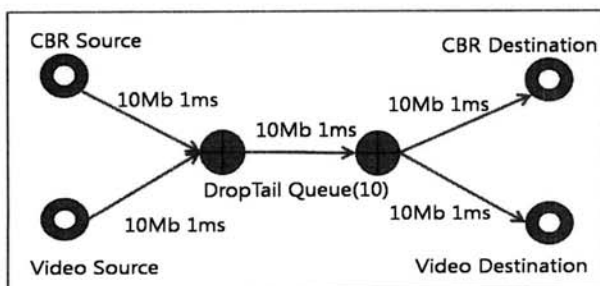
이는 3장에서 살펴본 CQ-CBR의 양자화 파라미터에 따른 평균 프레임 크기의 변화가 지수적으로 감소하는 것에 기반한다. 그림 1의 (c)에서 양자화 파라미터가 2, 3, 4, 5, 6 일 경우에 평균 프레임 크기는 30KB, 20KB, 15KB, 12KB, 10KB로 양자화 파라미터가 2인 경우를 기준으로 하면 비율은 1, 2/3, 1/2, 2/5, 1/3인 것을 볼 수 있다. 양자화 파라미터가 4인 프레임의 크기는 양자화 파라미터가 2인 경우에 1/2이기 때문에 필요한 네트워크 대역폭도 1/2이 된다. 이를 반대로 생각하면 양자화 파라미터가 2인 프레임을 한 개 전송할 수 있는 네트워크 대역폭이면 양자화 파라미터가 4인 프레임을 두 개 전송할 수 있다는 것이다. 그림 2의 (b)의 예시는 그림 1의 (c)에서 양자화 파라미터가 2(레벨 1), 4(레벨 2), 6(레벨3)인 경우로 생각할 수 있다.

5. 성능평가

5.1 실험환경

제안한 NAP기법의 성능을 평가하기 위하여 NS-2시뮬레이터를 사용하였으며 비디오 전송 성능을 평가하기 위하여 Evalvid와 Evalvid-RA를 사용하였다[1, 2, 22]. Evalvid틀은 비디오 전송의 성능을 측정하기 위해 개발된 틀이며 Evalvid-RA는 NS-2시뮬레이터에서 MPEG-4로 인코딩된 비디오 데이터의 레이트를 조절하면서 전송하는 것에 대한 성능을 측정할 수 있도록 Evalvid틀을 변형한 틀이다. 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 2~31사이에서 Constant Quantization Parameter 옵션을 활성화 하였으며 Evalvid-RA틀을 이용하여 NS-2에서 필요한 데이터를 추출하였다[21].

실험을 위한 노드의 배치는 (그림 3)과 같이 하였다. Video Source가 스트리밍 서버가 되며 Video Destination이 스트리밍 클라이언트가 된다. Video Source와 Video Destination



(그림 3) 실험환경

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 어플리케이션으로 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 성능척도

네트워크에 대한 고려없이 일정한 비트 레이트를 전송하는 방식(non-QP2, non-QP 10)을 기본 비교대상으로 선정하였다. QP2와 QP10은 각각 양자화 파라미터가 2와 10임을 의미한다. 양자화 파라미터가 2인 경우(non - QP 2)는 최대의 품질로 인코딩된 스트림이며 제일 큰 평균 프레임 크기를 갖기 때문에 성능척도의 상한가를 의미한다. 양자화 파라미터가 10인 경우(non - QP 10)는 최하의 품질로 인코딩된 스트림이며 제일 작은 평균 프레임 크기를 갖기 때문에 성능척도의 하한가를 의미한다. 추가적으로 네트워크 적응적으로 레벨을 조절하는 기법(level)을 성능 비교대상으로 선정하였다.

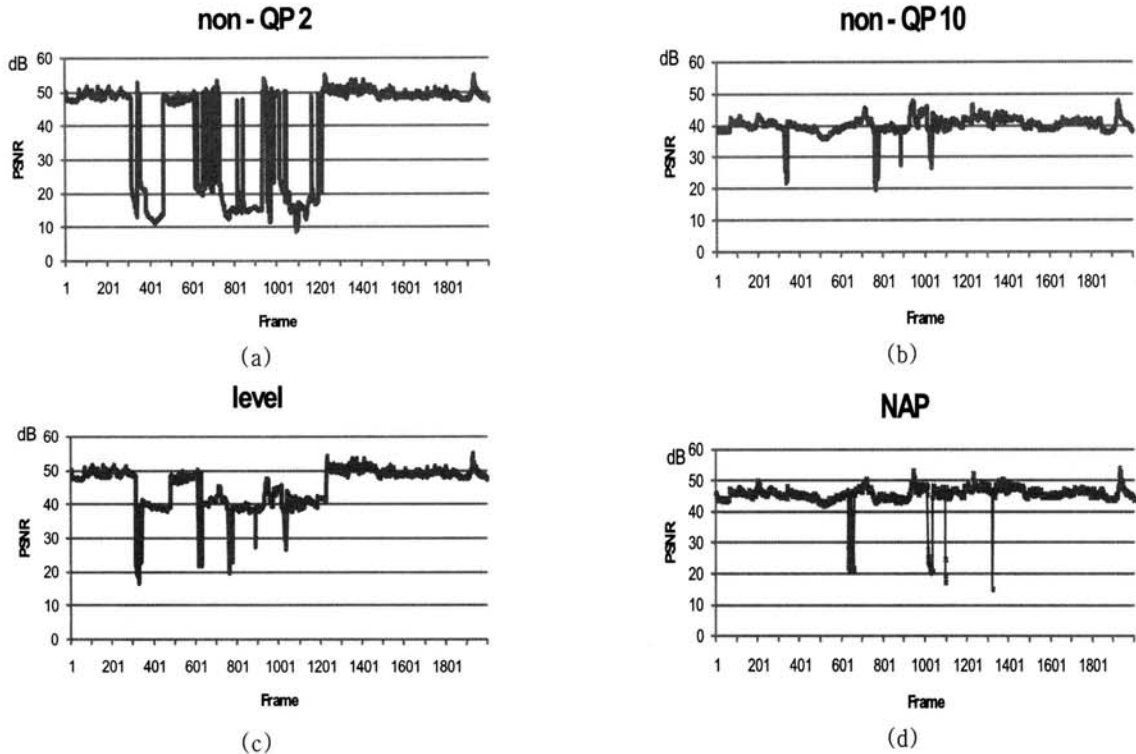
성능비교 척도로는 비디오 영상의 화질을 나타내는 PSNR(Peak Signal Noise Ratio), 버퍼 사용량, 네트워크 수신량 그리고 데이터 패킷 손실량을 선정하였다. PSNR은 영상의 열화 정도를 나타내는 수치값으로 PSNR값이 높을수록 화질이 좋은 것을 나타낸다. 버퍼 사용량은 제안된 기법을 위하여 클라이언트에서 추가적인 버퍼가 필요한지 여부를 확인하기 위하여 선정하였다. 좋은 화질을 제공하더라도 많은 버퍼를 필요로 한다면 좋은 기법이라 하기 어렵다. 패킷 손실량은 얼마나 네트워크 적응적으로 동작하는가 여부를 나타낸다. PSNR은 MSE를 이용하여 다음과 같이 구하였다.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (13)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (14)$$

5.3 PSNR비교

(그림 4)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. (그림 4)의 (a)는 최상의 품질로 제일 큰 평균 프레임 크기를 갖는 경우로 CBR트래픽이 없는 경우에는 제일 좋은 화



(그림 4) PSNR비교

질을 제공함을 볼 수 있으나 CBR 트래픽이 있는 구간에서는 패킷 손실이 많이 발생하기 때문에 화질이 급격하게 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 이와 반대로 (그림 4)의 (b)의 경우에는 최하의 품질로 제일 작은 평균 프레임 크기를 갖는 경우로 (그림 4)의 (a)에 비해 10정도 낮은 화질을 제공하고 있다. 하지만 CBR 트래픽이 있는 구간에서 약간의 화질열화만을 보일뿐 대체적으로 일정한 화질을 제공함을 확인할 수 있다. (그림 4)의 (a)는 가장 좋은 성능을, (b)는 가장 나쁜 성능을 보여주는 기준으로 삼는다.

(그림 4)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 4)의 (a)에 비해서는 CBR 트래픽 발생구간에서 매우 높은 화질을 안정적으로 제공하는 것을 알 수 있으며 (그림 4)의 (b)에 비해서는 CBR 트래픽이 없는 구간에서 높은 화질을 제공하여 두 가지 경우보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

(그림 4)의 (d)는 NAP 기법의 성능을 보여주는데 제안 기법에서는 CBR 트래픽이 없는 경우에 중간 레벨(양자화 파라미터 : 4)의 프레임을 2배 빠르게 전송토록 하였다. (그림 1)의 (c)에서 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 1/2

로 하여 느리게 전송되도록 하여 패킷 손실을 줄이도록 하였다. CBR트래픽이 10초에 시작하기 때문에 다른 그래프들(그림 4의 a~c)에서는 300번째 프레임(10초 * 30 프레임율) 정도부터 PSNR에 변화가 발생하고 있지만 제안 시스템의 성능을 나타내는 (그림 4)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 변화에도 일정한 화질을 제공할 수 있는 것이다.

제안 기법에서 20초까지 수신한 프레임수를 계산해보면 다음과 같다.

$$0\sim 10\text{초 사이} : 60\text{프레임율} \times 10\text{초} = 600\text{프레임}$$

$$10\sim 15\text{초 사이} : 15\text{프레임율} \times 5\text{초} = 75\text{프레임}$$

$$15\sim 20\text{초 사이} : 60\text{프레임율} \times 5\text{초} = 300\text{프레임}$$

$$\text{총 수신 프레임 수} : 600 + 75 + 300 = 975\text{프레임}$$

20초 동안 수신한 프레임으로 서비스 가능한 시간은 다음과 같다.

$$\text{서비스 가능 시간} = \text{총 수신 프레임 수} / \text{재생 프레임율} \\ = 975 \text{ 프레임} / 30\text{프레임} = 32.5\text{초}$$

즉 20초 동안 수신한 프레임으로 32.5초 동안 재생이 가능하다.

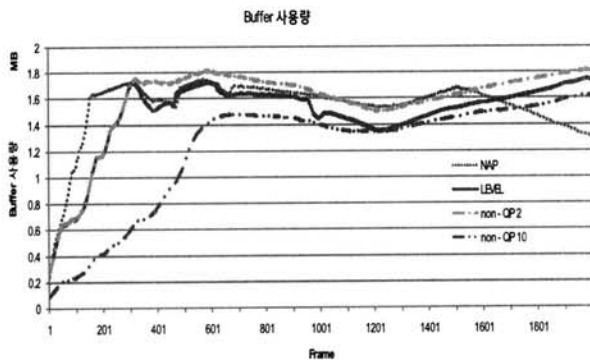
20초에서 32.5초 사이에 다시 CBR트래픽이 발생한 동안에 수신한 프레임수를 계산해보면 187.5프레임이며 이 187.5

프레임으로 재생가능한 시간은 6.25초이며 38.75초까지 정상적인 재생이 가능하다. 32.5초에서 6.25초 동안 수신한 프레임은 93.75프레임이 되며 이 93.75프레임으로 재생가능한 시간은 3.125초가 되어 32.5초 + 6.25초 + 3.125초 = 41.875초까지 재생이 가능해져 20초에서 40초 사이에 발생한 네트워크 변화에 상관없이 일정한 화질을 제공할 수 있다. (그림 4)의 (d)에서 PSNR이 약간씩 떨어지는 것은 CBR트래픽 발생 구간에서 일부의 패킷이 손실되기 때문인데 이 영향이 크기 않음을 확인할 수 있다.

5.4 버퍼 사용량

(그림 5)는 버퍼 사용량 변화를 보여준다. (그림 5)에서 보듯이 양자화 파라미터가 가장 큰 경우(non-QP2)인 경우에 제일 많은 버퍼를 사용하고 있는 것으로 나타났다. non-QP2가 버퍼를 가장 많이 사용하면서도 5.3절에서 화질이 제일 안 좋았던 이유는 뒤에서 살펴보겠지만 패킷손실이 많이 발생하였기 때문이다. 실험에서는 프레임의 크기가 UDP패킷의 크기보다 클 경우 여러 개의 패킷으로 나누어서 전송하도록 하였는데 하나의 프레임을 구성하는 여러 UDP패킷들중 하나라도 손실되면 해당 프레임도 손실된 것으로 처리하였다. 따라서 non-QP2의 경우 평균 프레임 크기가 제일 크기 때문에 프레임들이 많은 수의 UDP패킷으로 나누어져서 그만큼 패킷손실이 발생할 가능성도 높아진다. 따라서 많은 수의 패킷을 수신하더라도 프레임이 정상적으로 재생될 가능성은 낮아지기 때문에 화질이 낮아진다. 이에 비하여 제일 낮은 레벨로 전송한 non-QP10가 제일 적은 버퍼를 사용함을 알 수 있다.

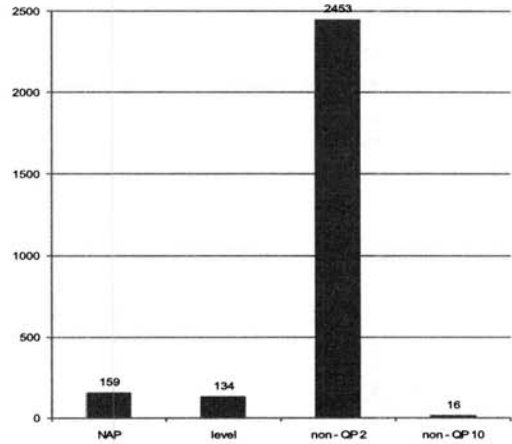
(그림 5)의 레벨을 조절하는 기법의 결과의 결과는 non-QP2와 거의 비슷한 모양을 나타내고 있다. 레벨 조절 기법과 non-QP2가 거의 비슷한 양의 버퍼를 사용하지만 레벨 기법이 월등히 나은 화질을 제공함을 5.3절에서 확인하였기 때문에 레벨 기법이 효율적임을 알 수 있다. 제안한 NAP기법의 버퍼 사용량을 보면 다른 기법들과 버퍼사용량에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 제안 기법이 네트워크 상태에 따라 전송 레벨과 전송 주기를 조절하여 다른 기법들과 비슷한 양의 데이터를 전송하기 때문이다.



(그림 5) 버퍼사용량 비교

5.5 패킷 손실

(그림 6)은 2000 프레임 전송하는 동안에 발생한 손실된 패킷수를 보여준다. 앞서 언급하였듯이 제일 많은 패킷을 전송하는 non-QP2에서 제일 많은 패킷이 손실됨을 알 수 있다. 즉 non-QP2에서는 많은 패킷을 전송하여 많은 패킷이 손실되기 때문에 화질이 매우 많이 열화되는 결과를 초래하였다. 이와는 반대로 제일 적은 패킷을 전송한 non-QP10에서는 패킷 손실이 거의 발생하지 않았으며 따라서 화질이 거의 변하지 않았음을 5.3절에서 확인할 수 있었다. 네트워크 상태에 따라 적응적으로 레벨을 조절하는 기법과 NAP 기법은 거의 비슷한 수의 패킷이 손실이 되었다. 두 기법 모두 네트워크 상태에 따라 전송되는 레벨이나 간격을 조절하기 때문에 패킷 손실이 거의 발생하지 않았으며 이는 스트림의 화질이 크게 열화되는 경우가 거의 없었던 것의 근거가 됨을 알 수 있다.



(그림 6) 패킷손실 비교

6. 결론

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

본 논문에서는 네트워크 상태가 변하더라도 최대한 일정한 수준의 QoS를 보장하는 네트워크 적응적 프리페칭 기법인 NAP을 제안하였다. NAP기법에서는 초기뿐만 아니라 스트리밍이 진행되는 동안에 대역폭에 여유가 있을 때마다 지속적으로 프리페칭을 시도하도록 하였다. 제안하는 NAP기법에서는 일정한 비트 레이트로 일정한 화질을 제공하는 CQ-CBR로 인코딩된 비디오 영상을 이용하여 최대한 일정한 수준의 QoS를 보장하는 것을 목표로 하였다. 서로 다른 양자화 파라미터값을 가지는 여러 레벨의 CQ-CBR 비디오

스트림이 서버에 저장되어 있는 상태에서 가용한 네트워크 대역폭을 바탕으로 프레임 전송율 조절을 통하여 프리페칭을 한다. 가용한 네트워크 대역폭이 높은 경우 대역폭보다 낮은 비트 레이트를 갖는 레벨의 스트림을 빠르게 프리페칭하여 네트워크 대역폭이 낮아지더라도 최대한 일정한 QoS를 유지할 수 있도록 하였다.

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. Klaue, B. Rathke and A. Wolisz, "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. Klaue, "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 and 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, pp.67-89, January, 2006.
- [7] Pai, C.Y. and 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 and K. Claffy, "Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques and Tools," IEEE Network, November/December, 2003.
- [9] N. Laouaris and I. Stavrakakis, "Adaptive playout strategies for packet video receivers with finite buffer capacity," in Proc. IEEE ICC'01, Vol.3, pp.969-973, 2001.
- [10] KE, C.-H., SHIEH C.-K., HWANG W.-S.m and ZIVIANI, A. "A Two-Markers System for Improved MPEG Video Delivery in a DiffServ Network," IEEE Communications Letters IEEE Press, Vol.9, No.4, p.381-383, 2005.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] H. Huang, J. Ou and D. Zhang, "Efficient Multimedia Transmission in Mobile Network by using PR-SCTP," Communications and Computer Networks (CCN 2005)
- [14] A. Lo, G. Heijenk and I. Niemegeers, "Performance Evaluation of MPEG-4 Video Streaming over UMTS Networks using an Integrated Tool Environment," Proceedings SPECTS, 2005.
- [15] 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 .
- [16] W.C. Feng and J. Rexford, "Performance Evaluation of Smoothing Algorithms for Transmitting Pre-recorded Variable-Bit-Rate Video," IEEE Transactions on Multimedia, Vol.1, No.3, pp.302-313, September, 1999.
- [17] S. Lee and K. Chung, "TCP-Friendly Rate Control Scheme Based on RTP," ICOIN 2006, LNCS 3961, pp.660-669, Springer-Verlag Press, 2006.
- [18] Zhijun Lei and Nicolas D. Georganas "Adaptive video transcoding and streaming over wireless channels," Journal of Systems and Software 75(3), 253-270, 117, 2005.
- [19] 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.
- [20] Jen-Chun Chiang, Hsiang-Fu Lo and Wei-Tsong Lee, "Scalable Video Coding of H.264/AVC Video Streaming with QoS-Based Active Dropping in 802.16e Networks," AINA Workshops 2008.
- [21] <http://ffmpeg.mplayerhq.hu/>
- [22] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>



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 시스템
사업부 선임 연구원

1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신
공학과(석사)

1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과(박사)

2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

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