

자원 제약이 있는 네트워크에서 저장 비디오 데이터의 효율적인 전송을 위한 선택적 계층삭제 알고리즘

노 지원[†] · 이 미 정^{††}

요 약

대다수의 멀티미디어 응용프로그램에서 네트워크를 통해 서버로부터 클라이언트로 비디오 스트림을 전송하는 작업이 요구된다. 그런데 네트워크 대역폭과 클라이언트 버퍼에 모두 용량 제약이 있는 경우에는 전송되는 비디오 스트림의 손실이 불가피하며 이러한 손실이 클라이언트나 네트워크에서 일어난다면 네트워크 자원의 낭비가 생기게 된다. 또한 프레임이 삭제되는 경우에는 클라이언트에서 비연속적 영상을 획득하게 된다. 이에 본 논문에서는 대역폭과 클라이언트 버퍼 용량에 모두 제약이 있는 네트워크를 통해 계층적 인코딩이 적용된 비디오 스트림을 전송할 때 클라이언트 측에서 시간에 맞추어 재생 할 수 없는 데이터를 서버 측에서 미리 버리되, 프레임 전체를 버리지 않고 선택적으로 중요도 순에 의해 일부 계층을 버리는 선택적 계층 삭제 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션에 의하여 제안하는 선택적 계층 삭제 방식과 기존에 제안된 선택적 프레임 삭제 방식의 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 재생된 화면의 화질을 판단하는 메트릭 값이 향상되고 재생 불연속이 감소함을 볼 수 있었다.

A Selective Layer Discard Algorithm for Stored Video Delivery over Resource Constrained Networks

Jiwon Noh[†] · Meejeong Lee^{††}

ABSTRACT

Video delivery from a server to a client across a network system is an important part of many multimedia applications. Usually, the network system has constraint in both the amount of network bandwidth and the buffer size in the client. While delivering a video stream across such a constrained network system, loss of frames may be unavoidable. The system resources consumed by the dropped frames are wasted, and the losses of frames would result in discontinuous display at the client. In this paper, for delivering hierarchically encoded video stream, we introduce the notion of selective layer discard algorithm at the server which not only preemptively discards data at the server but also drops less important part of a frame instead of the entire frame. By the simulation, we compare the proposed selective layer discard algorithm and the existing selective frame discard algorithm. The simulation results show that the proposed algorithm may improve the quality of decoded video, and decrease the replay discontinuity at the client.

키워드 : 트래픽 스무딩(traffic smoothing), 선택적 프레임 삭제(selective frame discard), 선택적 계층 삭제(selective layer discard), 계층적 인코딩(layered encoding)

1. 서 론

전자 도서관, 원격 학습 및 공동 작업, 비디오나 영상 서버, 대화식 가상 환경 등과 같은 다양한 멀티미디어 응용프로그램에서는 서버에 저장된 영상을 네트워크를 통해 클라이언트로 전송하고 클라이언트에서 이를 재생하는 일련의 작업이 요구된다. 그런데 일반적으로 저장된 비디오는 대역폭 요구가 매우 높고 울 변화가 크다는 특성이 있어 효율적으로 네트워크 자원을 사용하기 어렵다. 특히, 가변 비트 울 압축

기법은 저장 영상비디오 스트림을 전송하고 저장하기 위한 자원 요구사항을 줄일 수 있으나, 생성되는 비디오 스트림의 울 변동성은 매우 크다[1]. 따라서, 네트워크 대역폭과 버퍼 크기 같은 자원에 제약이 주어지는 네트워크 환경에서는, 사용자가 인식하는 QoS(Quality of Service)를 최대로 하면서 높은 자원 활용율을 얻을 수 있는 효율적인 저장영상 전송 시스템을 설계하는 것이 주요한 관건이다.

이를 위해 비디오 스트림에 큰 버스트가 있는 경우 클라이언트 버퍼를 이용하여 이를 선 반입함으로써 버스티한 비디오 스트림의 네트워크 대역폭 요구를 줄일 수 있는 다양한 비디오 트래픽 완화 기법이 제안되었다[2-5]. 이러한 연구에서는 클라이언트 버퍼 용량에 한계가 있다

* 이 연구는 학술진흥재단의 2000년도 BK21 특화 사업에 의하여 지원되었음.

[†] 정 회 원 : 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과

^{††} 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2001년 7월 4일, 심사완료 : 2001년 7월 30일

고 가정하고 이러한 클라이언트 버퍼를 최대한 사용하여 네트워크 대역폭 요구를 최소한으로 줄이는 것을 목표로 한다. 한편, 이와는 대조적으로 네트워크 대역폭에 제약이 있다고 가정하고 이를 활용하여 소요되는 클라이언트 버퍼 양을 최소화하기 위한 방법에 대해서도 연구가 이루어져 왔다[6-9].

그러나 실제의 네트워크 환경을 고려해 보면, 일반적으로 네트워크 대역폭과 클라이언트 버퍼 크기 둘 다 제약이 주어지게 된다. 예를들어, CBR(Constant Bit Rate) 서비스를 제공하는 경우에 클라이언트 버퍼 크기는 실제적으로 제약이 있을 수밖에 없고, 네트워크는 완화된 비디오 스트림의 최고 율을 지원할 수 있을 만큼 충분한 대역폭을 가지고 있지 않을 수 있다. 또는 RCB(Renegotiated Constant Bit Rate) 서비스 경우에 비디오 전송 중간에 대역폭 협상 실패가 발생할 수도 있다[10]. 그런데 이렇게 두 가지의 제약이 동시에 존재하는 환경에서는 데이터의 손실을 야기하지 않고 클라이언트 측으로 비디오 스트림을 전송할 수 있는 유효한 서버 전송 계획이 존재하지 않을 수도 있다.

대역폭 제약은 단위 시간당 전송될 수 있는 데이터의 양을 제한하고 클라이언트 버퍼 용량의 제약은 클라이언트 버퍼로 선반입 될 수 있는 데이터 양을 제한한다. 따라서, 어떤 버스트에 대해 클라이언트 버퍼 용량 제약으로 인해 충분히 선반입할 수 없는 상황에서 대역폭 제약으로 인해 선반입 되지 못한 데이터를 충분히 빨리 전송해 줄 수도 없다면 결국 데이터는 마감 시간에 맞추어 클라이언트에 도착할 수 없게 되고 쓸모 없는 데이터가 되어 클라이언트에서 삭제되어 버리게 된다. 만약, 서버가 대역폭 제약을 어기고 빨리 전송한다면 네트워크에 폭주를 초래하게 되어 네트워크 상에서 삭제되어 버리거나 긴 지연을 겪게 될 수 있다. 반대로, 대역폭 제약을 준수하기 위해 서버가 클라이언트 버퍼 제약을 무시하고 지나치게 선반입을 하게 되면 클라이언트 버퍼에 오버플로우를 유발할 수 있다. 이렇게 결국은 삭제되는 쓸모 없는 프레임들을 전송하고 저장하기 위해 사용한 네트워크 대역폭이나 클라이언트 버퍼와 같은 네트워크 시스템의 자원은 낭비된 것이다.

비디오 스트림을 전송하는데 있어 가용한 네트워크 자원이 위와 같이 충분치 못한 경우에는 아예 전송 서비스를 거부할 수 있다. 그러나, 클라이언트는 전송 서비스 자체가 중단되거나 거절되는 것보다는, 프레임 손실이 발생하여 받는 비디오의 질이 낮아지더라도 받아보기를 원할 수 있다. 최근 [11]에서 Zhi-Li Zhang 등은 이러한 경우에 네트워크 자원을 보다 효율적으로 사용하면서 재생되는 비디오의 품질을 높이기 위하여 대역폭 및 클라이언트 버퍼 등의 네트워크 제약을 동시에 고려하여 서버에서 '선택적으로 프레임 삭제하는 방법'에 대하여 연구하였다.

선택적 프레임 삭제는 마감 시간에 맞추어 데이터가 배달될 수 없는 경우 서버에서 프레임을 미리 삭제함으로써 네트워크 자원의 효율성을 최적화 하는 것을 목적으로 한다. 선택적 프레임 삭제에서는 재생 마감 시간 내에 도착할 수 있는 경우에는 프레임을 전송하고 그렇지 않은 경우에는 프레임을 삭제하되, 삭제할 프레임은 다음 프레임들이 재생 마감 시간을 충족시키는 가능성을 최대한 증가시키도록 선택한다.

[11]에서 제안한 것과 같이 네트워크나 클라이언트가 아닌 서버에서 선택적으로 프레임 삭제하게 되면 두 가지의 장점이 있다. 첫째, 서버가 미리 시간내 전송이 불가능한 데이터를 파악하여 전송스케줄에서 삭제하므로 대역폭이나 클라이언트 버퍼 등의 네트워크 자원이 재생되지 않은 데이터에 의해 낭비되지 않는다. 둘째로, 서버에서는 프레임 크기나 프레임간 상호 의존성 및 중요도 등 응용 특정 정보를 알고 있으므로 이를 반영하여 버릴 프레임을 선택할 수 있다. 결과적으로 서버는 네트워크 자원을 효율적인 활용하여 클라이언트에서 인식되어지는 서비스의 질이 최적화 되도록 할 수 있다.

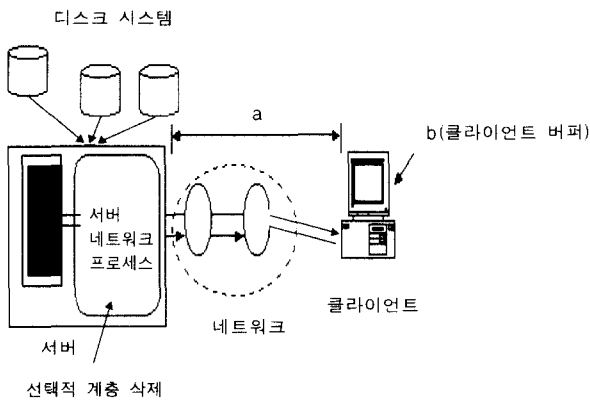
본 논문에서는 [11]과 마찬가지로 네트워크 대역폭과 클라이언트 버퍼 용량에 모두 제약이 있다고 가정하고, 계층적 인코딩 스킴에 의해 압축된 비디오 스트림의 경우에 마감 시간에 맞출 수 없을 때 서버에서 선택적으로 데이터를 삭제하는 방안을 제안하였다. 그런데 [11]에서는 마감 시간에 맞출 수 없는 경우 프레임 단위로 데이터를 삭제한 것에 비하여, 본 논문에서는 프레임을 구성하고 있는 서로 다른 우선 순위의 계층 단위로 서버가 데이터를 삭제한다. 계층 단위로 삭제하게 되면 우선 더 적은 단위로 삭제가 이루어지게 되므로 가용 네트워크 자원을 활용하는 제어가 더욱 세밀하게 이루어지게 된다. 또한, 프레임 전체가 삭제되는 경우를 줄일 수 있고 삭제가 일어나는 경우 덜 중요한 부분을 삭제하게 되므로 프레임 단위로 삭제하는 것에 비하여 재생되는 비디오 스트림의 연속성 및 질을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션에 의하여 제안한 선택적 계층 삭제 기법과 기존의 선택적 프레임 삭제 기법을 전통적인 비디오 질 평가 메트릭인 SNR(Signal to Noise Ratio), MSE (Mean-Square Error) 등의 값으로 비교한 결과 제안한 기법의 경우 클라이언트에서 측정된 이들 메트릭 값이 더 우수함을 볼 수 있었다. 그리고, 물론 제안한 기법에 의해 발생하게 되는 삭제에 영향을 받은 프레임 수, 즉, 일부라도 삭제가 일어난 프레임의 총 수가 선택적 프레임 삭제 기법에 의해 삭제되는 프레임 총 수보다 많지만, 프레임 전체가 삭제된 횟수를 비교하면 제안한 기법에서는 전체 프레임 삭제가 거의 발생하지 않아, 재생 연속성 면에서 질이 향상될 수 있음을 짐작할 수 있다.

본 논문의 내용은 다음과 같이 구성된다. 1장의 서론에

이어 2장에서는 본 연구에서 제안한 선택적 계층 삭제 기법에 대해 소개한다. 3장에서는 [11]에서 제안된 선택적 프레임 삭제와 본 논문에서 제안한 선택적 계층 삭제 기법의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 시뮬레이션 수행을 통하여 수집한 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 기술한다.

2. 선택적 계층 삭제 방식

MPEG, Wavelet 등의 계층적 인코딩을 통해 압축된 비디오 스트림은 기본 계층(base layer), 첫째 보완 계층(enhancement layer), 둘째 보완 계층, ... 등으로 구성되는 프레임의 연속이다. 기본 계층은 각 프레임에서 가장 중요한 정보로서 우선 순위가 제일 높고, 보완 계층은 기본 계층의 이미지를 보완하는 정보를 가지고 있으며 계층의 순위가 클수록 그 정보의 중요도가 낮아지게 된다. 제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘은 이러한 계층적 인코딩 기법에 의해 압축되어, 서버에 저장되어 있는 비디오 스트림을 클라이언트로 전송할 때 적용할 수 있는 서버의 전송 스케줄링 방법이다. 제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘을 설명하는데 있어서는 기본 계층을 1-계층, 첫째 보완 계층을 2-계층, ..., i 번째 보완 계층을 $(i+1)$ -계층이라 부르기로 한다.



(그림 1) 문제 정의에서 가정하는 환경

(그림 1)은 서버가 네트워크를 통해 오프라인 영상 스트림을 클라이언트로 전송하는 환경을 도식화한 것이다. 비디오 데이터는 디스크 서버 시스템으로부터 서버 메모리로 복사된 후에 서버 전송계획에 따라서 네트워크를 통해서 클라이언트로 이동하게 된다. 클라이언트는 서버로부터 선반입된 비디오 데이터를 재생할 때까지 저장해 두기 위한 버퍼를 가지고 있다. 네트워크 자원 제약은 두 군데에 존재하는데, 하나는 a 구간의 네트워크 대역폭 상의 제약이고, 다른 하나는 b 구간의 클라이언트가 가지고 있는 재생 버퍼

크기의 제약이다.

[11]에서는 (그림 1)과 동일한 환경에서 마감 시간에 맞추어 재생할 수 없는 프레임이 발생하는 경우 서버에서 프레임 단위로 삭제하는 알고리즘을 제시하였다. 먼저, 삭제하는 프레임 수를 최소화하는 알고리즘을 다음과 같이 제시하고 그 최적성을 증명하였다.

1. 클라이언트 버퍼 용량 제약을 범하지 않는 한 계속해서 대역폭 제약에 의한 최대 속도로 전송한다.
2. 최대 속도로 보내면 클라이언트 버퍼에 오버플로우가 발생하는 경우에는 클라이언트 버퍼가 수용할 수 있는 양만을 보낸다.
3. 1과 2에 의해 가능한 한 가장 빠른 속도로 보내었는데도 재생 마감 시간까지 재생될 프레임을 모두 전송할 수 없었다면 이는 주어진 제약하에서 모든 프레임을 시간에 맞추어 전송할 방법이 없음을 의미하므로 전송 스케줄에 포함시키지 않을 프레임을 정한다. 이 때, 삭제할 프레임은 이 후에 이러한 일이 일어나는 것을 최소화시킬 수 있는 프레임이어야 한다. 즉, 그 프레임을 전송 스케줄에서 제외시켜버림으로써 현재 클라이언트 버퍼가 차 있는 정도(이득)를 최대화시킬 수 있는 프레임이어야 한다.

그런데 이와 같이 삭제될 프레임이 선택하면 일련의 연속된 프레임이 선택되어 클라이언트에서 재생되는 비디오의 연속성이 매우 저하될 수 있으므로 [11]에서는 이전에 삭제된 프레임으로부터의 거리가 가까울수록 삭제 비용을 크게 잡아 이러한 비용을 최소화하면서 최소의 프레임을 삭제하는 최적의 알고리즘을 제시하였다. 그러나 이 알고리즘의 복잡도가 너무 높기 때문에 [11]에서는 최적의 삭제 프레임 선택에 대한 휴리스틱 알고리즘을 몇 가지 제안하였고, 시뮬레이션 결과 삭제에 의해 발생하는 이득/비용이 가장 큰 프레임을 삭제하는 방법이 가장 효과적임을 제시하였다.

제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘에서도 [11]의 아이디어를 도입하여 제약이 허용하는 한 최대 속도로 전송하다가 그래도 필요한 모든 데이터를 시간에 맞추어 전송할 수 없는 일이 발생하면 아예 전송 스케줄에 포함시키지 않을 데이터를 선택한다. 그런데 [11]에서 어떤 시간에 그 시간에 재생되어야 할 프레임에 속하는 데이터가 클라이언트 버퍼에 모두 도착하지 못했다면 통째로 버릴 희생 프레임을 선택한 것에 반해, 제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘에서는 현재 프레임(재생 시간에 맞추어 도착하지 못한 프레임)에서 어느 계층부터가 시간에 맞추어 도착하지 못해 버려야 하는지에 따라 그 계층과 우선 순위가 같거나 낮은 계층만을 버리게 될 희생 프레임을 선택한다. 그리고, [11]에서 제

시한 시물레이션 결과를 바탕으로, 희생 프레임을 결정하는 기준으로는 정해진 계층 이하의 계층을 버림으로서 이득/비용이 가장 큰 프레임을 선택하도록 하였다. 그런데 제안하는 선택적 계층 삭제에서는 삭제 단위가 계층이므로 [11]과는 다른 새로운 비용 함수 계산 기준은 사용하였다.

2.1 선택적 계층 삭제 알고리즘

제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘을 자세히 설명하기에 앞서 먼저 알고리즘을 설명하는데 사용하게 될 표기들에 대하여 정의하기로 한다. 먼저, C 는 대역폭 제약이고 B 는 클라이언트 버퍼 용량이라 정의하기로 한다. 그리고 비디오 스트림에 대한 정보를 표시하기 위해 $N, f_j^i, L_j = \{L_1, L_2, \dots, L_N\}$ 를 사용하기로 한다. N 은 비디오 스트림의 길이(프레임 수)이고, f_j^i 는 i 번째 프레임에 대해 j 번째 계층까지의 크기를 표시한다. 그리고, 벡터 L 의 요소 L_i 는 계층적 인코딩 결과 i 번째 프레임에는 몇 번째 계층까지 인코딩되어 있는지를 표시한다. 인코더가 생성하는 최대 계층 수가 n 이라면 $0 \leq L_i \leq n$ 이 된다.

제안하는 알고리즘은 (그림 2)에서 보는 바와 같이 N 개의 단계($i=1, 2, \dots, N$)로 진행하면서 전송 계획 벡터 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ 를 작성해 나간다. S_i 는 i 번째 프레임에 대해 몇 번째 계층까지 서버의 전송 스케줄에 포함되었는지를 표시한다. $0 \leq S_i \leq n$ 이며, $S_i = 0$ 이라면 i 번째 프레임 전체가 스케줄에 포함되지 않는 것을 의미하고 $S_i = k$ 라면 i 번째 프레임의 k -계층까지 스케줄에 포함되는 것을 의미한다. 각 프레임이 재생되는 시간을 프레임 시간이라고 하면, B_i 는 프레임 시간 i 에서의 클라이언트 버퍼 점유량을 의미하고, A_i 는 프레임 시간 i 까지 서버가 전송하는 총 데이터 양을 표시한다. a_i 는 프레임 시간 i 에 서버가 전송하는 데이터의 양이며, $A_i = \sum_{l=1}^i a_l$ 이다. 벡터 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ 은 서버의 전송 스케줄을 나타낸다. D_i 는 프레임 시간 i 까지 클라이언트에서 재생되어야 하는 총 데이터 양을 나타내며, $D_i = \sum_{l=1}^i f_l^{S_l}$ 이다. A_i 가 D_i 보다 적은 경우에는 프레임 시간 i 에 재생될 데이터의 양이 전송된 데이터의 양보다 적으므로 클라이언트 버퍼 언더플로우가 발생한 것이다. 벡터 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ 는 언더플로우 곡선을 나타낸다. 반대로, A_i 가 D_i+B 보다 크면 클라이언트 버퍼에 오버플로우가 발생하게 된다.

Δ_j^i 는 알고리즘 진행 단계 i 에서 프레임 j 를 희생 프레임으로 결정하여 프레임 j 의 일부 계층을 삭제하게 되는 경우에 얻게 되는 이득(클라이언트 버퍼 점유량 증가)이며, $\cos t_j^i$ 는 알고리즘 진행 단계 i 에서 프레임 j 의 일부 계층

을 삭제하는 경우 감소해야 하는 비디오의 질 감소이다. 이때 비디오의 질은 버릴 계층을 얼마나 연속적으로 혹은 가까운 프레임들로부터 선택했느냐에 따라 다르다고 가정하였다[11]. DFL 은 재생 마감 시간에 맞추지 못해 희생 프레임을 골라 일부 데이터를 삭제해야 하는 경우 어느 계층부터 삭제하는지를 표시한다.

```

1   $i_0 = 0, B_0 = 0, A_0 = 0$ 
2  For  $i = 1$  to  $N$ 
3     $S_i = L_i$ 
4  For  $i = 1$  to  $N$  {
5     $a_i = C$  /* 대역폭 제약이 허용하는 최대 속도  $C$ 로 전송 */
6    IF  $B_{i-1} + C > B$  { /* 버퍼 오버플로우 검사 */
7       $a_i = B - B_{i-1}$ 
8       $i_0 = i$ 
9       $B_i = B - f_{L_i}^i$ 
10   }
11  ELSE IF  $B_{i-1} + C < f_{L_i}^i$  { /* 재생 불만족이 발생하는지 검사 */
12    temp1 =  $f_{L_i}^i - (B_{i-1} + C)$  /* 삭제되어야 하는 데이터 양 */
13    temp2 =  $f_{L_i}^i - temp1$  /* 재생 할 수 있는 데이터 양 */
14    /* 삭제되어야 하는 계층 수 결정 */
15    FOR  $j = n$  down to 0
16      IF temp2  $\geq f_j^i$  break
17     $DFL = j+1$ 
18    /* 마지막 오버플로우 지점부터 재생 불만족 지점까지의 구간에서 계층 삭제할 희생 프레임 결정 */
19     $k = I$ 
20    Compute  $\Delta_j^i / \cos t_j^i$ 
21    FOR  $j = i_0+1$  to  $i-1$  {
22      IF  $S_j < DFL$  Continue /*  $j$ 번째 프레임의  $DFL$  계층이 이미 삭제되어 있는 경우는 다음 프레임 검사 */
23      ELSE IF  $(\Delta_j^i / \cos t_j^i) > (\Delta_k^i / \cos t_k^i)$ 
24        Set  $k = j$ 
25      }
26       $S_k = DFL - 1$ 
27       $B_i = B_{i-1} + C + \Delta_k^i - f_{S_k}^i$ 
28      IF  $(B_i == B)$ 
29         $i_0 = I$ 
30      }
31    ELSE /* 어느 제약 조건에도 걸리지 않는 경우 */
32       $B_i = B_{i-1} + C - f_{L_i}^i$ 
33       $A_i = A_i + a_i$ 
34       $D_i = 0$ 
35      FOR  $l = 1$  to  $I$  /* 프레임 시간  $i$ 에서의 언더플로우 값 재설정 */
36         $D_i = D_i + f_{S_l}^i$ 
37    }
38  }
39  OUTPUT  $S, A$ 

```

(그림 2) 선택적 계층 삭제 알고리즘

본 논문 알고리즘의 의사 코드(pseudo code)는 (그림 2)와 같다. N 개의 프레임으로 이루어진 비디오 스트림에 대한 전송 스케줄을 만드는 작업은 $i = 0, 1, \dots, N$ 단계로 진행된다. 매 단계에서는 반복적으로 프레임 시간 i 에서의 전송률 a_i 를 결정하고, 전송 계획 S 에 대해 S_i 의 값을 정하며 $j < i$ 인 j 에 대해 추가 삭제 대상이 되는 프레임 j 가 있어 S_j 가 변경되어야 하는지 검사한다. 알고리즘은 먼저 단계 0에서의 버퍼 점유량 B_0 와 서버 전송량 A_0 를 0으로 초기화하고, 전송 계획 S 는 L 로 초기화한다(줄 1-3). 변수 i_0 는 가장 최근에 버퍼에 오버플로우가 발생했던 프레임 시간을 표시하는 변수인데 그 값은 0으로 초기화한다(줄 1).

매 단계 i 에서(줄 4-36)에서는 우선 프레임 시간 i 에 보내게 될 데이터의 양 (a_i)을 결정하는데, a_i 는 클라이언트의 버퍼에 오버플로우가 발생하지 않는 한 대역폭 제약이 허용하는 최대 속도 C 이다(줄 5). 만약 최대 속도 C 로 보내면 클라이언트 버퍼에 오버플로우가 발생하게 된다면 클라이언트 버퍼가 허용할 수 있는 양만을 보낸다(줄 7). 그리고 버퍼 오버플로우가 발생한 시점을 표시하는 $i_0 = i$ 로 설정한다(줄 8).

클라이언트 버퍼에 오버플로우가 발생하지 않는다면, 다음으로는 프레임 시간 i 에 프레임 i 전체가 클라이언트 버퍼에 들어와 있는지 확인한다(줄 11). 만약 $B_{i-1} + C < f_i^L$, 면, L_i 개의 레이어를 가진 프레임 i 전체가 아직 클라이언트 버퍼에 다 도착하지 않았음을 의미한다. 이런 경우 제약이 허용하는 한 최대 속도로 전송했어도 필요한 데이터가 제 시간에 모두 도착할 수 없는 것이므로 희생할 프레임들을 찾아 일부 계층을 삭제해야 한다. 이와 같이 프레임이 재생 시각 이전에 클라이언트 버퍼에 모두 도착하지 못하는 것을 '재생 불만족'이라 표현하기로 한다. 각 프레임에 대해 어느 계층까지 서버에서 전송할 것인지를 표시하는 전송 계획 벡터 S 는 재생 불만족이 발생하는 경우에 추가로 일부 계층을 삭제할 프레임이 생기므로써 변화하게 된다(줄 25). 삭제할 계층은(DFL) 프레임 i 중 재생 마감 시간(프레임 시간 i)에 도착하지 못한 데이터 양이 얼마나 되는가에 따라 달라지게 된다(줄 12-16). 일부 계층을 추가로 삭제할 희생 프레임은 마지막으로 클라이언트 버퍼 오버플로우가 일어난 시점인 i_0 이후로부터 재생되는 프레임들 중에서 선택하게 되는데 이것은 i_0 이전에는 프레임을 삭제함으로써 얻게 되는 버퍼 이득이 없기 때문이다[11]. 희생 프레임은 계층을 삭제함으로써 얻게되는 이득 (Δ_j^i) 과 비용의 비 ($cost_j^i$)가 가장 큰 프레임을 선택하는데 (줄 19-23) 이때의 이득과 비용을 계산하는 방법은 2.2절에서 자세히 설명하기로 한다.

프레임 시간 i 에 클라이언트 버퍼 오버플로우도 발생하

지 않고 재생 불만족도 발생하지 않는다면 단계 i 에서 전송 계획 S 의 첫 번째 프레임부터 ($i-1$)번째 프레임까지는 추가적인 변화가 없고 i 번째 프레임 (S_i)에 대해서는 모든 계층을 전부 전송하는 것으로 결정한다(줄 29-30). 각 단계에서 a_i, S_i 와 함께 클라이언트 버퍼 점유량 B_i 와 프레임 시간 i 에서의 언더플로우 임계값 D_i 가 적절하게 설정되어야 한다(줄 9, 25, 30-34).

2.2 일부 계층을 삭제할 프레임 선택

(그림 2)의 선택적 계층 삭제 알고리즘은 가능한 한 이미 삭제가 발생한 프레임으로부터 멀리 떨어진 프레임을 계층 삭제할 희생 프레임으로 선택하여 비디오의 연속성을 높이는 동시에 재생 불만족이 발생한 시점 i 에서의 클라이언트 버퍼 점유량을 높이는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 알고리즘 진행 단계 i 에서 임의의 프레임 j 를 희생 프레임으로 선택하여 프레임 j 에서 계층 DFL 로부터 삭제해 버리는 경우 얻게 되는 버퍼 이득 Δ_j^i 와 비용 $cost_j^i$ 를 각각 (그림 3), (그림 5)와 같이 계산한다.

```

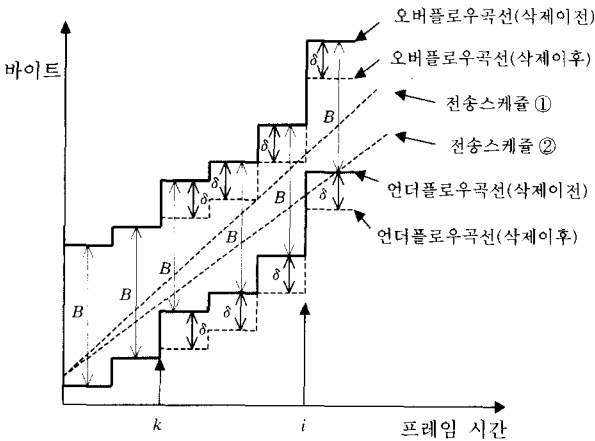
1  IF ( j == i )
2      Δji = fSi - fDFL-1i
3  ELSE
4      ∇ji = fSi - fDFL-1i
5      Δji = min ( ∇ji, ) j ≤ k ≤ i ( Dk + B - Ak )
    
```

(그림 3) 버퍼 이득 함수 계산

(그림 3)의 알고리즘에서 계층 삭제 대상이 되는 프레임이 재생 불만족 지점에서 재생되어야 하는 프레임인 경우에는 단순히 현재 그 프레임의 크기와 계층 DFL 로부터 삭제시킨 경우의 프레임 크기의 차이가 버퍼이득 값 Δ_j^i 가 된다(줄 1-2). 그러나, 계층 삭제 대상 프레임이 재생 불만족 지점에서 재생되어야 하는 프레임이 아닌 경우에는 프레임 시간 j 로부터 i 까지의 전송 스케줄이 클라이언트 버퍼 오버플로우를 유발시키지 않는 범위 내에서만 버퍼이득 (Δ_j^i)을 취할 수 있다(줄 3-5).

(그림 4)는 이와 같이 버퍼 이득을 계산하는 이유를 보여 준다. 서버에서 프레임의 일부 계층을 삭제하면 클라이언트에서 재생되어야 할 데이터의 양이 감소하기 때문에 프레임 시간 i 이전 어느 시점에 δ 만큼의 데이터를 서버에서 삭제하면 프레임 시간 i 까지 클라이언트에서 재생되어야 하는 총 데이터 양을 나타내는 D_i 값이 δ 만큼 감소하게 된다. 즉, (그림 4)에서 보듯이 k 번째 프레임에서 δ 만큼의 데이터를 삭제하면 삭제 시점 k 로부터 i 까지의 언더플로우 곡선 D 가 δ 만큼 아래쪽으로 평행 이동한다. 이에 따라 프레

임 시간 i 에서의 버퍼 점유율은 δ 만큼 향상하게 된다. 또한, 항상 언더플로우 곡선에서 버퍼 용량 B 만큼 위로 평행 이동한 위치에 있는 오버플로우 곡선도 δ 만큼 아래쪽으로 평행 이동하게 된다. 서버의 전송 스케줄이 ①과 같은 경우에는 프레임 k 에서 δ 만큼의 데이터를 삭제하면 프레임 시간 i 에서는 클라이언트 버퍼 점유량이 지나치게 늘어나 오버플로우가 발생하게 된다. 전송 스케줄이 ②와 같은 경우에는 프레임 k 에서의 계층 삭제로 인해 프레임 시간 i 에서의 언더플로우를 막을 수 있다.



(그림 4) 서버에서 δ 만큼의 데이터를 삭제하는 경우, 클라이언트에서의 버퍼 점유량 변화

버퍼 이득 함수 Δ_j 와 함께 어떤 프레임을 계층 삭제할 희생 프레임으로 선택하는데 사용하는 비용 함수 $cost_j$ 는 희생 프레임간의 거리에 기반 하여 (그림 5)와 같이 정의하였다. 계층 삭제가 일어나는 프레임의 수를 가능한 한 줄이기 위해 이미 과거에 희생 프레임으로 선택되어 일부 계층이 삭제된 프레임인 경우 비용함수를 최소로 하고 그 비용은 프레임의 원래 계층 수에 반비례하게 하였다. 이것은 이미 계층 삭제가 일어난 프레임의 경우 영향받는 프레임 수를 줄일 수 있고 계층 수가 많은 프레임의 경우 한 계층 당 중요도가 더 적다고 보기 때문이다(①). 이미 계층 삭제가 발생했던 프레임이 아니라면 이 프레임이 비디오 스트림에서 연속적으로 위치한 희생 프레임 중 하나인지의 여부에 따라 서로 다른 비용함수를 적용하는데, 연속적으로 희생 프레임이 발생하는 경우의 비용이 더 크도록 하였다. 연속적인 희생 프레임 시퀀스 중 하나라면 함수 ③을 적용하고 그렇지 않다면 함수 ②를 적용한다. 함수 ②의 경우는 $\frac{1}{\sqrt{d_j}}$ 항으로 인해 이미 일부 계층을 버린 프레임 중 가장 가까운 프레임과의 거리가 멀수록 작아지며, $\frac{L_k}{S_k + L_k}$ 으로 인해 그 일부 계층을 이전에 이미 버린 프레임에 아직 남아 있는 계층의 수가 클수록 적어진다. 함수 ③의 경

우는 희생된 프레임들이 연속되는 길이가 길어질수록 커지게 되며 이들 연속적인 희생 프레임 스트림에 속하는 각 프레임에서 아직 남아 있는 계층의 수가 적을수록 더 커진다. 이 비용계산 함수는 [11]의 선택적 프레임 삭제 알고리즘에서 사용한 비용계산 함수의 기본적인 아이디어를 도입하고, 이에 희생 프레임들의 계층 삭제 정도를 반영하는 요소를 첨가한 것이다.

```

/*이미 삭제가 발생한 적이 있는 프레임의 경우*/
IF  $S_j < L_j$ ,
     $cost_j = \frac{1}{L_j}$  (1)
/*  $k$ : 프레임  $j$ 로부터 가장 가까운 프레임으로서 일부 계층을
   삭제한 프레임 */
/*  $d_j$ : 프레임  $j$ 로부터 프레임  $k$ 까지의 거리 */
ELSE IF  $d_j > 0$ 
     $cost_j = \frac{L_k}{S_k + L_k} + \frac{1}{\sqrt{d_j}}$  (2)
/*  $l$ : 계층 삭제가 일어난 연속적인 프레임 수 */
/*  $m$ : 연속 삭제가 일어난 각 프레임 */
ELSE IF  $l \geq 2$ 
     $cost_j = \sum_m \frac{L_m}{S_m + L_m}$  (3)
    
```

(그림 5) 비용 함수 계산

3. 시뮬레이션 모델과 결과 분석

본 장에서는 제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘과 기존의 선택적 프레임 삭제 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 본 시뮬레이션은 Ultra Sparc 워크 스테이션에서 C언어로 구현하였다. 3.1절에서는 두 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경을 제시하고, 3.2절에서는 실험 결과를 토대로 두 방식의 성능을 비교한다.

3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제안하는 선택적 계층 삭제 알고리즘과 선택적 프레임 삭제 알고리즘을 비교하기 위해 실제 비디오 스트림을 다양한 네트워크 제약 하에서 서버와 클라이언트 간에 전송하는 시뮬레이션을 실행하였다. 성능 비교를 위한 메트릭으로서 비디오의 화질을 객관적으로 나타내는 PSNR(Signal Noise Ratio), MSE(Mean Square Error), RMSE(Reverse Mean Square Error) 등의 세 가지 값을 클라이언트에서 측정하였고, 삭제되는 프레임의 수와 계층별 삭제 횟수(제안하는 계층 삭제 알고리즘의 경우)도 측정하였다. PSNR은 서버에서 저장된 압축 영상이 네트워크를 통해 클라이언트에 전송되어 클라이언트에서 복원된 영상의 잡음에 대비한 시스템 율로서 큰 값일수록 충실도가 높

은 동영상을 얻게 된다. MSE는 압축 영상이 전송되어 클라이언트에서 복원한 영상의 에러율로서 작은 값일수록 복원된 영상의 충실도가 향상됨을 의미한다[12, 13].

사용된 비디오 시퀀스는 Two-men이며, Wavelet 인코딩을 이용하여 최대 3개의 계층으로 이루어진 프레임으로 인코딩 하였다. 사용된 비디오 시퀀스의 특징은 <표 1>과 같다.

<표 1> 비디오 시퀀스 특징

특성 비디오 시퀀스	프레임의 개수	프레임들의 평균 크기	프레임들 중 최대 크기	프레임들 중 최소 크기	프레임 크기간 표준편차
Two-Men	58977개	17544B	18224B	752B	649B

<표 2>는 클라이언트 버퍼 용량을 0.4MB로 고정하고 대역폭을 변화시켜보면서 각 알고리즘의 비용 함수(cost) 값이 어떻게 변화하는지를 보여준다. 대역폭 제약은 기존의 대역폭 완화 기법에 관한 논문들에서 일반적으로 많이 사용한 값을 참고로 하여 프레임의 크기를 기준으로 평균-표준편차, 평균, 평균+표준편차 등의 세 가지 값으로 변화시켜 보았다. <표 2>에서 보여주듯이 대역폭 제약이 커질수록 두 기법 모두 비용 함수 값이 커짐을 볼 수 있다. 비용 함수 값이 커진다는 것은 연속적인 계층 혹은 프레임의 삭제가 많아짐을 의미하는 것이다.

<표 2> 대역폭 변화에 따른 비용함수 값

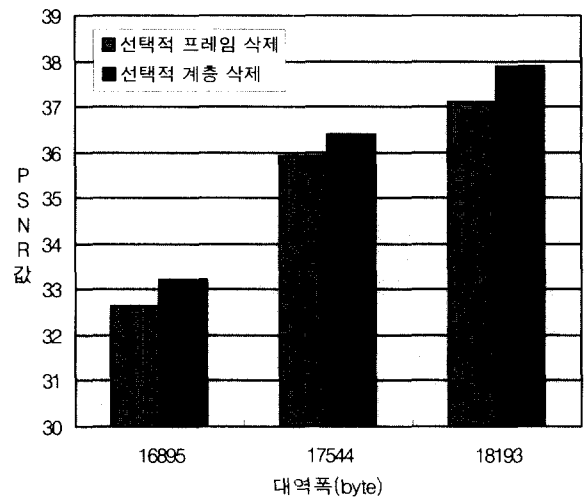
알고리즘 대역폭 제약	선택적 프레임 삭제	선택적 계층 삭제
평균-표준편차 (16895byte)	79.04	70.23
평균 (17544byte)	60.92	50.94
평균+표준편차 (18193byte)	38.25	31.06

<표 3>은 역시 클라이언트 버퍼 제약을 0.4MB로 고정시키고 대역폭 제약을 변화시켜 보면서 각 알고리즘에서 발생하는 프레임 혹은 계층별 삭제 횟수를 본 것이다. 제안하는 계층 삭제 기법의 경우 대역폭 제약이 가장 적은 경우(대역폭이 (평균 프레임 크기 - 프레임 크기 표준 편차)인 경우)를 제외하고는 가장 덜 중요한 3-계층 데이터에 대해서만 삭제가 일어났다. 부분적으로라도 삭제가 발생한 총 프레임 수는 제안하는 계층 삭제 기법의 경우에 약간 더 많았으나, 프레임 삭제의 경우 해당 프레임들 전체가 삭제된 것에 반해 제안하는 계층 삭제 기법에서는 가장 중요한 1-계층 데이터는 모든 프레임에 대해 전송할 수 있었다.

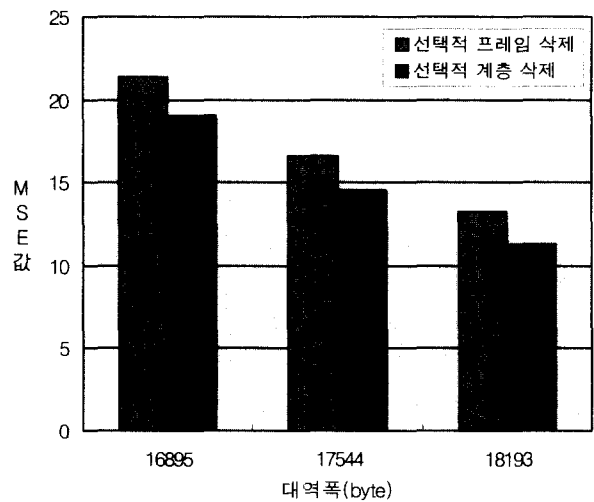
<표 3> 대역폭 변화에 따른 영향받는 프레임 수와 계층 수

알고리즘 별 삭제 횟수 대역폭 제약	선택적 계층 삭제				선택적 프레임 삭제
	3-계층	2-계층	1-계층	총수	
16895 byte	72	15	0	87	92
17544 byte	65	0	0	65	56
18193 byte	35	0	0	35	28

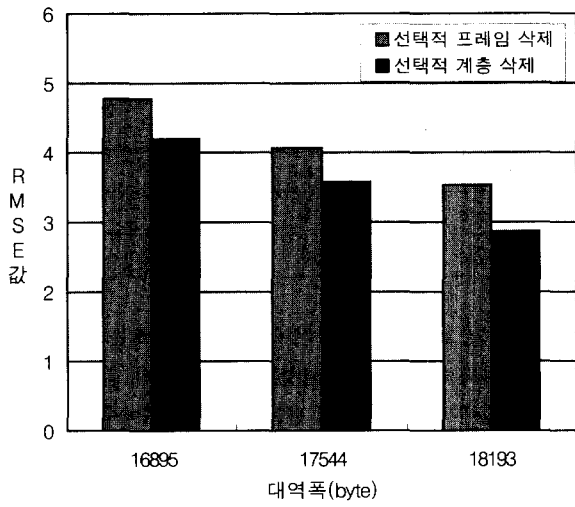
(그림 6)~(그림 8)은 클라이언트에서 재생하는 화질을 객관적으로 나타내는 PSNR, MSE, RMSE 등의 값이 대역폭 제약이 커짐에 따라 어떻게 변화하는지를 보여주는 그림이다. 두 기법 모두 대역폭 제약이 심할수록 화질을 나타내는 세 가지 메트릭의 값이 악화되나, 세 가지 메트릭에 대해 모두 제안하는 선택적 계층 삭제 기법이 선택적 프레임 삭제 기법보다 더 나은 값을 얻을 수 있음을 볼 수 있다.



(그림 6) PSNR 값 측정



(그림 7) MSE 값 측정



(그림 8) RMSE 값 측정

다음은 대역폭을 평균 프레임 사이즈인 17544 byte로 고정하고 클라이언트 버퍼용량을 0.2 MB부터 0.5MB까지 변화시키면서 실험하였다. <표 4>에서 보면 대역폭 제약의 증가 경우와 마찬가지로 클라이언트 버퍼 제약이 커질수록 두 스킴 모두 삭제되는 프레임의 연속되는 정도를 나타내는 비용 함수 값이 커짐을 볼 수 있다.

<표 4> 버퍼 변화에 따른 Cost 값

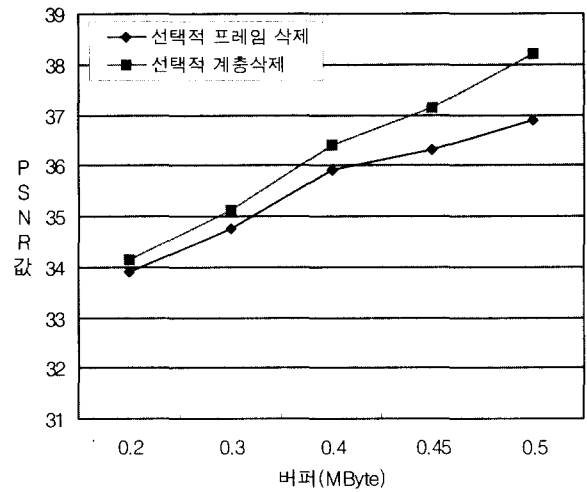
알고리즘 버퍼	선택적 프레임 삭제	선택적 계층 삭제
0.5MB	31.75	31.04
0.45MB	45.02	38.21
0.4MB	60.92	50.94
0.3MB	69.27	59.84
0.2MB	77.32	67.23

<표 5> 버퍼 변화에 따른 삭제된 프레임 수와 계층 수

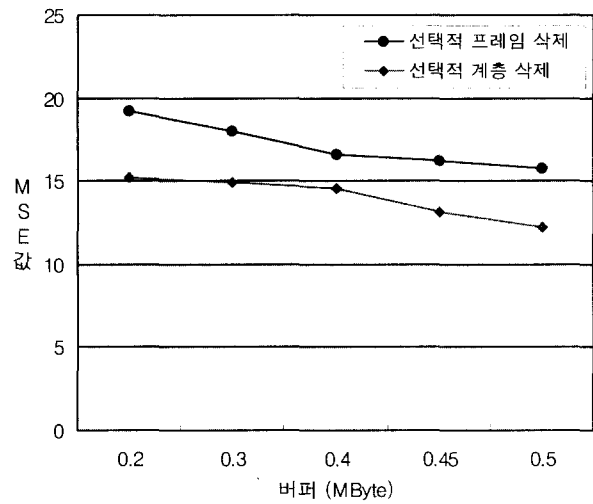
알고리즘 별 삭제회수 버퍼	선택적 계층 삭제				선택적 프레임 삭제
	3-계층	2-계층	1-계층	총수	
0.5MB	40	0	0	40	27
0.45MB	53	0	0	53	29
0.4MB	65	0	0	65	56
0.3MB	67	0	0	67	76
0.2MB	52	11	0	63	81

<표 5>는 계층별로 삭제된 횟수와 일부라도 삭제가 일어난 총 프레임의 수를 보여준 것이다. 제안한 계층 삭제 기법의 경우에는 실험한 모든 버퍼 제약에 대해 가장 중요한 계층인 1-계층 데이터는 모두 전송되었다. 대역폭 제약에 대한 실험 결과와 마찬가지로, 부분적으로라도 삭제가 발생한 프레임 총 수를 비교하면 선택적 프레임 삭

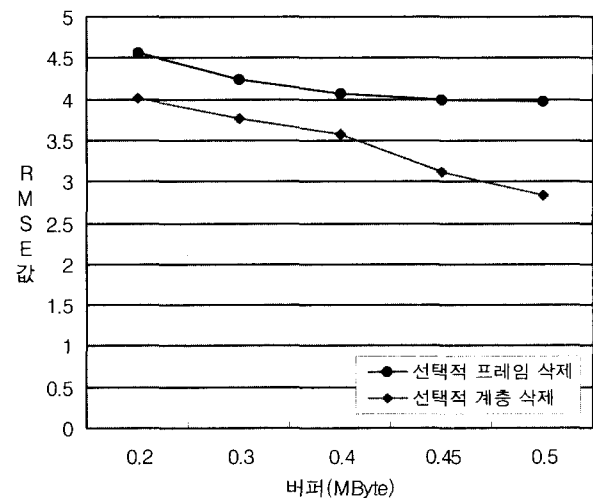
제 기법이 더 많은 경우가 대부분이지만, 선택적 계층 삭



(그림 9) PSNR 값 측정



(그림 10) MSE 값 측정



(그림 11) RMSE 값 측정

제의 경우는 모든 프레임에 대해 최소한 가장 중요한 1-계층은 모두 전송한 것에 반해 선택적 프레임의 경우는 모든 프레임 삭제에 대해 가장 중요한 1-계층까지 전송되지 못한 것이다.

(그림 9)~(그림 11)은 대역폭을 역시 평균 프레임 사이즈인 17544 byte로 고정하고 클라이언트 버퍼용량을 0.2 MB부터 0.5MB까지 변화시키면서 PSNR, MSE, PMSE 세 가지의 값을 측정하여 결과를 보여주고 있다. 대역폭을 변화시킨 실험 결과와 유사하게, 세 가지 메트릭에 대하여 모두 선택적 계층 삭제 알고리즘이 더 좋은 결과를 보였다.

4. 결 론

본 논문에서는 대역폭과 클라이언트 버퍼 용량에 모두 제약이 있는 네트워크를 통해 계층적 인코딩이 적용된 비디오 스트림을 전송할 때 클라이언트 측에서 시간에 맞추어 재생 할 수 없는 데이터를 서버 측에서 미리 버리되, 프레임 전체를 버리지 않고 선택적으로 중요도 순에 의해 일부 계층을 버리는 선택적 계층 삭제 알고리즘을 제안하였다. 계층 단위로 삭제하게 되면 프레임 단위로 삭제하는 것보다 더 작은 단위로 삭제가 이루어지게 되므로 가용 네트워크 자원을 활용하는 제어가 더욱 세밀하게 이루어지게 된다. 또한, 프레임 전체가 삭제되는 경우를 줄일 수 있고 삭제가 일어나는 경우 덜 중요한 부분을 삭제하게 되므로 프레임 단위로 삭제하는 것에 비하여 재생되는 비디오 스트림의 연속성 및 질을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션에 의하여 제안한 선택적 계층 삭제 기법과 기존의 선택적 프레임 삭제 기법을 전통적인 비디오 질 평가 메트릭인 SNR (Signal to Noise Ratio), MSE(Mean-Square Error) 등의 값으로 비교한 결과 제안한 기법의 경우 클라이언트에서 측정할 이들 메트릭 값이 향상됨을 볼 수 있었다. 그리고, 물론 제안한 기법에 의해 발생하게 되는 삭제에 영향을 받은 프레임 수, 즉, 일부라도 삭제가 일어난 프레임의 총 수가 선택적 프레임 삭제 기법에 의해 삭제되는 프레임 총 수보다 평균적으로 많지만, 프레임 전체가 삭제된 횟수를 비교하면 제안한 기법에서는 전체 프레임 삭제가 거의 발생하지 않아, 재생 연속성 면에서 질이 향상될 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] M. Krunz, S.-K. Tripathi, "On the Characteristics of VBR MPEG Streams," Proc. ACM SIGMETRICS, pp.192-202, June, 1997.

[2] W. Feng, J. Rexpord, "A Comparison of Bandwidth Smoothing Techniques for the Transmission of Pre-recorded Compressed Video," Proc. IEEE INFOCOM, pp.58-66, April 1997.

[3] Z. Jiang, L. Kleinrock, "A General Optimal Video Smoothing Algorithm," IEEE Transactions on Networking, Nov. 1998.

[4] W. Feng, M. Liu, "Extending Critical Bandwidth Allocation Techniques for Stored Video Delivery Across Best-Effort Networks," IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, April, 2000.

[5] J. D. Salehi, Z.-L. Zhang, J. F. Kurose, D. Towsley, "Supporting Stored Video : Reducing Rate Variability and End-to-End Resource Requirements through Optimal Smoothing," Proc ACM SIGMETRICS, Nov. 1995.

[6] J. Rexford, D. Towsley, "Smoothing variable-bit rate video in an internetwork," Proc. SPIE symposium on Voice, Video, and Data Communications ; Multimedia Networks : Security, Displays, Terminals, and Gateways, November 1997.

[7] Z.-L. Zhang, J. Kurose, J. Salehi, D. Towsley, "Smoothing, Statistical Multiplexing and Call Admission Control for Stored Video," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Special Issue on "Real-Time Video Services in Multimedia Networks," Aug. 1997.

[8] W. Feng, "Rate-constrained bandwidth smoothing for the delivery of stored video," In IS&T/SPIE Multimedia Computing and Networking conf., Feb. 1996.

[9] J. Zhang, J. Y. Hui, "Traffic Characteristics and Smoothness Criteria in VBR Video Traffic Smoothing," IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, June, 1997.

[10] S. Sen, D. Towsley, Z. L. Zhang J. Dey, "Optimal Multicast Smoothing of Streaming Video over an internetwork," Technical Report, Computer Science Department, University of Massachusetts, July, 1998.

[11] Z.-L. Zhang, S. Nelakuditi, R. Aggarwa, R. P. Tsang, "Efficient Selective Frame Discard Algorithms for Stored Video Delivery across Resource Constrained Networks," In Proc. IEEE INFOCOM '99, NYC, March, 1999.

[12] Wu-chi Feng, F. Jahanian, S. Sechrest, "An Optimal Bandwidth Strategy for the Delivery of Compressed Pre-recorded Video," ACM/Springer-Verlag Multimedia Systems Journal, Vol.5, No.5, pp.297-309, Sep. 1997.

[13] B. J. Vickers, Meejeonjg Lee, T. Suda, "Feedback Control Mechanisms for Real-Time Multipoint Video Services," IEEE JSAC, Vol.15, No.3. April, 1997.



노 지원

e-mail : oreo12@hanmail.net

1999년 이화여자대학교 컴퓨터학과 졸업
(학사)

2001년 이화여자대학교 과학기술대학원
컴퓨터학과(공학석사)

관심분야 : 분석 비디오 전송을 위한 트래픽 제어, QoS Routing



이 미 정

e-mail : lmj@mm.ewha.ac.kr

1987년 이화여자대학교 전자계산학과 졸업
(학사)

1989년 University of North Carolina at
Chapel Hill 컴퓨터학과(석사)

1994년 North Carolina State University
컴퓨터공학과(공학박사)

1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과 부교수.

관심분야 : 고속 통신 프로토콜 설계 및 성능 분석, 비디오 전송을 위한 트래픽 제어, 인터넷에서의 QoS 지원 Ad-hoc 네트워크