

인터넷 상의 가변 비트율 비디오 스트리밍을 위한 적응형 전송 기법

손 성 훈[†] · 백 윤 철[†]

요 약

본 논문에서는 인터넷 상의 분산 비디오 스트리밍 서비스에서 저장된 가변 비트율 비디오의 전송에 대해 고려한다. 스트리밍 서비스에서 전송 중에 대역폭 재조정 프로토콜에 따라 대역폭 할당이 줄게 되면 흔히 재생의 끊김 현상이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복할 수 있는 가변 비트율 비디오에 대한 전송 기법을 제안한다. 이 기법에서는 저장된 가변 비트율 비디오에 대한 사전 정보를 사용하여 재생이 끊김없이 이루어질 수 있도록 전송한다. 또한 제안된 전송 기법 하에서의 수용 제어를 위해 버퍼-대역폭 관계를 근사적으로 계산할 수 있는 기법을 제안한다.

키워드 : 비디오 스트리밍, VBR 비디오, 전송 기술, 대역폭 재조정

An Adaptive Transmission Scheme for Variable Bit Rate Streaming Video over Internet

Sung-Hoon Son[†] · Yun-Cheol Baek[†]

ABSTRACT

In this paper, we consider the transmission of variable bit rate (VBR) stored video for the distributed video streaming service over Internet. In streaming service, users often suffer from the discontinuity in playback due to the decrease in bandwidth during transmission according to bandwidth renegotiation protocol. We propose a novel transmission technique to overcome this problem for stored variable bit rate video. This scheme uses a priori information of stored VBR video to continue streaming without playback discontinuity. In addition, an approximation scheme for the buffer-bandwidth relation is proposed in order to facilitate the admission control under the proposed scheme.

Key Words : Video Streaming, VBR Stored Video, Transmission Technique, Bandwidth Renegotiation

1. 서 론

최근 하드웨어 기술의 발전으로 인해 인터넷 방송 서비스나 주문형 비디오 서비스와 같은 다양한 연속 미디어(continuous media) 응용 서비스들이 가능하게 되었다. 비디오 서버는 이러한 연속 미디어 응용 서비스에서 필수적인 구성 요소들 중 하나이다. 비디오 서버는 디스크 어레이와 같은 고용량 저장 장치에 많은 양의 비디오 데이터를 저장하고, 원격지의 클라이언트로부터 재생 요청을 받는 즉시 요청된 비디오 데이터를 찾아 이를 클라이언트 측으로 전송함으로써 클라이언트에 서비스를 제공한다.

비디오 재생의 실시간 특징으로 인해 비디오 서버는 비디오 데이터를 조심스럽게 전송해야 한다. 네트워크 대역폭은 비디오 스트리밍을 위해 비디오 서버가 관리해야 하는 중요한 자원 중 하나이다. 일반적으로 비디오 스트림들은 MPEG과 같은 가변 비트율(Variable Bit Rate, VBR) 압축 기법에 의해 인코딩되어 있기 때문에, 재생 시 필요한 단위 시간당 데이터의 양이 가변적이며, 이러한 특징은 비디오 서버의 네트워크 대역폭 관리 문제를 더 복잡하게 만든다[1].

네트워크 대역폭의 사용은 비디오 서버가 사용하는 전송 프로토콜에 의해서 크게 영향을 받는다. 미디어 스트리밍 서비스에서 주로 사용되는 전송 프로토콜의 특징은 스트리밍 도중의 네트워크 트래픽 상태에 따라 전송 대역폭을 재할당하기 위해 비디오 서버와 클라이언트 간에 피드백 컨트롤 메커니즘을 사용한다는 것이다[2, 3]. 현재 인터넷 기반 스트

[†] 정 회 원 : 상명대학교 소프트웨어학부 교수
논문접수 : 2005년 1월 7일, 심사완료 : 2005년 5월 11일

리밍 서비스에서는 흔히 RTP(Real-time Transport Protocol)와 같은 전송 프로토콜이 널리 사용되고 있다. RTP는 비디오 등과 같은 실시간 데이터의 전송을 위한 IP 기반 프로토콜이다[4]. RTP는 스트리밍 세션의 참가자로부터 데이터 전송 품질에 대한 피드백을 얻기 위해 RTCP(Real-time Transport Control Protocol) 라는 보조적인 프로토콜을 함께 사용하도록 설계되었다. 따라서 RTP/RTCP를 사용하는 스트리밍 세션에서는, 클라이언트로부터 받는 전송 품질에 대한 피드백에 따라 네트워크 대역폭 할당은 시간별로 달라진다. 그러므로, 비디오 서버가 사용하는 전송 기법은 RTP/RTCP의 동작을 잘 알고 있어야 하며, 언제 얼마나 많은 데이터가 클라이언트로 보내져야 하는지 결정하기 위해 이러한 프로토콜의 특징을 이용할 수 있어야 한다.

그간 저장된 가변 비트율 비디오의 스트리밍을 위한 많은 전송 기법들이 제안되었다. 이러한 기법들은 주로 네트워크 대역폭의 효율적인 활용, 비트율 다양성의 최소화, 버퍼 요구 최소화 등을 중점적으로 다루었다. 본 논문은 기존에 제안된 전송 기법들의 장점을 유지하면서 인터넷을 통해 스트리밍을 위한 대역폭 재협상을 적용한 새로운 가변 비트율 비디오 전송 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연속 미디어의 실시간 전송에 대한 개념을 소개하고, 기존 연구들에서 몇 가지 가변 비트율 비디오의 전송 기법들에 대해 검토한다. 3장에서는 본 논문에서 새롭게 제안하는 가변 비트율 비디오 전송 기법을 소개하고, 제안된 전송 기법 하에서 비디오 서버와 클라이언트 간에 대역폭 재협상에 적용할 수 있는 수용 제어 알고리즘을 제안한다. 4 장에서는 성능 연구에 대한 결과를 보이고, 5 장에서 결론을 제시한다.

2. VBR 비디오를 위한 연속적인 전송

비디오 데이터의 실시간성으로 인해 비디오 서버는 흔히 라운드라고 하는 일정한 시간 간격을 단위로 비디오 프레임들을 주기적으로 전송하게 된다[5]. 또한 비디오 서버가 전송한 비디오 프레임들을 받아 재생하는 클라이언트의 동작 역시 주기적으로 이루어진다. 클라이언트 측에서의 연속적인 재생을 보장하기 위해서 비디오 서버는 매 라운드마다 미리 정해진 수의 비디오 프레임들을 각 클라이언트에 전송해야 한다. 매 라운드마다 전송해야 하는 프레임의 개수는 일정하지만, 대부분의 비디오들이 가변 비트율 인코딩을 사용함으로써 인해 해당 비디오 데이터의 양은 매 라운드마다 가변적이다.

보통 비디오 서버는 언제 그리고 얼마만큼의 데이터를 클라이언트로 보낼 것인지를 결정하기 위해 전송 스케줄러(transmission scheduler)를 사용한다. 비디오 서버가 사용할 수 있는 전체 네트워크 대역폭의 크기는 고정되어 있기 때

<표 1> 기호 정의

표기법	정 의
N	비디오의 길이
T	시간 인덱스
t_d	초기 재생 시작 지연 시간
$c(t)$	시간 t 에서의 프레임 크기. 즉, 시간 t 일 때 클라이언트에서 소비되는 (재생되는) 데이터의 양
$C(t)$	시간 구간 $[0, t]$ 동안 클라이언트에서 소비되는 데이터의 누적 양; $C(t) = \sum_{i=1}^t c(i)$
$p(t)$	시각 t 에서 비디오 서버에 의해 전송되는 데이터의 양
$P(t)$	시간 구간 $[0, t]$ 동안 비디오 서버에 의해 전송되는 데이터의 누적 양; $P(t) = \sum_{i=1}^t p(i)$
$b(t)$	시간 t 에서의 클라이언트의 버퍼 수준
B_{MAX}	클라이언트의 최대 버퍼 크기
R	스트림에 할당된 네트워크 대역폭

문에, 비디오 서버가 동시에 수용할 수 있는 비디오 스트림의 수 역시 제한되게 된다. 새로운 클라이언트를 수용하기 전에, 전송 스케줄러는 새로운 클라이언트를 위해 이용 가능한 충분한 네트워크 대역폭이 존재하는지 검증하기 위한 수용 제어 (admission control) 절차를 거쳐야 한다.

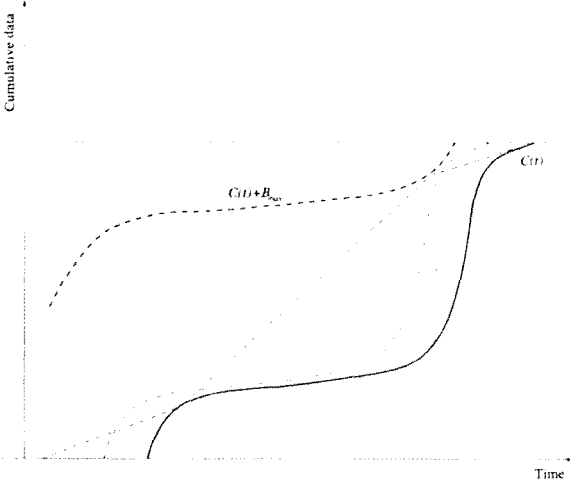
저장된 VBR 비디오의 경우, VBR 비디오 프레임들을 효과적으로 전송하기 위해 라운드 별 프레임 크기와 같은 사전 정보(a priori information)들을 활용할 수 있다. 전송 스케줄러는 스트리밍이 시작 시에 이 정보를 사용함으로써 더 효율적인 전송 스케줄을 만들 수 있다. 주어진 VBR 비디오에 대해, 전송 스케줄러는 클라이언트 쪽에서 버퍼의 기아(starvation) 또는 버퍼 오버플로우가 발생하지 않도록 매 라운드마다 전송되는 비디오 데이터의 양을 결정해야 한다. 전송 스케줄러가 생성한 연속적인 재생이 보장되는 전송 스케줄은 다음과 같은 제약조건을 만족해야 한다. (이들 기호에 대한 정의는 <표 1>에 있다.)

$$C(t) \leq P(t), \quad 0 \leq t \leq n \tag{1}$$

$$P(t) - C(t) \leq B_{max}, \quad 0 \leq t \leq n \tag{2}$$

$$P(t+1) - P(t) \leq r, \quad 0 \leq t \leq n-1 \tag{3}$$

식(1)은 연속적인 재생에 대한 제약 조건이다. 이는 기아 현상 없는 재생을 위해서 비디오 서버가 클라이언트가 재생



(그림 1) VBR 비디오에 대한 연속적 전송과 다양한 전송 스케줄

을 위해 소비하는 양보다 항상 더 많은 데이터를 전송해야 함을 의미한다. 식(2)는 클라이언트의 버퍼 크기에 대한 제약 조건이다. 이것은 서버가 비디오 데이터를 전송함에 있어 제한된 클라이언트 버퍼가 오버플로우 되지 않도록 전송해야 함을 의미한다. 식(3)은 네트워크 대역폭에 대한 제약 조건이다. 이는 각 스트리밍 세션마다 고정된 크기의 네트워크 전송 대역폭이 할당됨을 의미한다. (그림 1)은 위의 세 가지 제약 조건을 만족하는 몇 가지 전송 스케줄을 나타낸다.¹⁾ 이 그림에서 $C(t)$ 로 표시된 굵은 실선과 $C(t)+B_{MAX}$ 로 표시된 굵은 점선 사이의 모든 그래프들이 연속적인 재생 조건을 만족하는 전송 스케줄에 해당한다.

그간 저장된 VBR 비디오에 대한 연속적 전송 및 재생을 위해 많은 전송 기법들이 제안되었다. [6]에서는 방송 중인 VBR 비디오 트래픽의 전송에 대한 결정적인 보장과 관련된 기본적인 제약과 트레이드오프들을 다루고 있다. [7]에서는 VBR 비디오의 연속적인 전송을 위한 최적의 트래픽 스무딩 기법이 제안되었다. 특히 이 논문에서는 클라이언트 측의 버퍼 크기와 VBR 데이터의 비트율 가변성을 최소화하는 관점에서의 최적화 기법을 소개하고 있다. 또한 최적화된 스무딩 기법을 적용한 결과에 따른 통계적 다중화(statistical multiplexing) 이득을 얻고자 시도하고 있다. [8]은 VBR 비디오 데이터에 대한 CBR(Constant Bit Rate) 기반의 전송 기법을 제안하고 있다. 순수한 CBR 전송 기법에서는 요구되는 대역폭이 고정되었기 때문에, 다중화와 수용 제어가 간단하여 서버에 주는 부담이 적다는 이점이 있다. 그러나 이 전송 기법은 항상 스트림에 할당된 전송 대역폭을 모두 사용함으로써, 결과적으로 불필요하게 많은 양의 데이터를 전송하게 되어 클라이언트 버퍼 요구량이 크다는 단점을 지

니고 있다.

3. CBR 채널의 대역폭 재협상에서의 연속적인 전송

이 장에서는 스트리밍 세션 중 전송 대역폭 할당의 변화를 고려한 VBR 비디오의 연속적 전송 기법을 제안한다. 제안된 전송 기법에서는 우선 고정된 크기의 네트워크 대역폭 예약을 바탕으로 주어진 비디오 트래이스 대한 기본적인 전송 스케줄을 생성한다. 이 과정에서는 일차적으로 VBR 비디오 트래픽의 스무딩을 통해 비트율 가변성을 감소시킨다. 다음으로 기본적인 전송 스케줄을 바탕으로 대역폭 할당의 변화를 적용할 수 있는 새로운 전송 기법을 제안한다. 이 절에서 설명하는 모든 과정은 스트리밍 서비스가 시작되기 전에 오프라인으로 처리될 수 있다. 본 절의 논의에서는 비디오 서버가 VBR 비디오를 전송하기 위해 고정적인 대역폭 할당을 사용하는 것을 가정한다. 더 나아가서 네트워크 트래픽에 혼잡이 발생했을 때 각 CBR 채널에 네트워크 대역폭 할당은 스트리밍 세션 도중에 클라이언트와 서버간의 대역폭 재협상 과정에서 변경될 수 있음을 가정한다. 또한, 클라이언트는 일반적으로 수 메가 바이트 이하의 비교적 작은 버퍼 공간만을 사용하는 경우를 고려한다.

3.1 기본 전송 스케줄

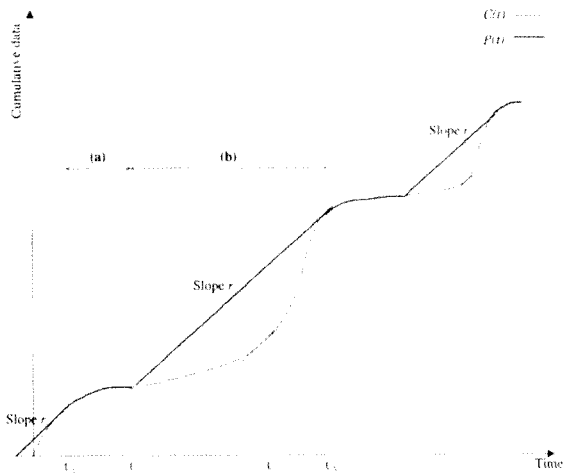
이 절에서는 우선 고정된 대역폭 할당을 사용하는 VBR 비디오 전송 기법을 소개한다. 여기서 제시하는 전송 기법은 다음 절에서 제안되는 대역폭 조절을 고려한 평준화 기술의 기초가 된다. 트래픽 평준화의 배후에 있는 기본 아이디어는 할당된 전송 대역폭보다 작은 크기의 프레임이 전송될 때, 먼저 큰 프레임의 일부 또는 전부를 미리 전송하는 것이다. 이는 기본적으로 클라이언트에 약간의 버퍼 영역을 요구한다.

주어진 전송율에 대해 연속적 재생을 보장하면서도 클라이언트의 버퍼 요구량을 최소화하는 방법은 다음과 같다. 우선 주어진 VBR 비디오에 대해 라운드별 비트율을 비디오의 마지막에서부터 거꾸로 검사한다. 주어진 비디오 트래이스 $c(t)$ 와 네트워크 대역폭 r 에 대해, 각 라운드에서의 클라이언트의 버퍼 레벨은 다음과 같이 계산 될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b(n) &= 0 \\
 \delta(t) &= c(t) - r + b(t+1), \quad t = (n-1), (n-2), \dots, 1 \\
 b(t) &= \begin{cases} \delta(t), & \text{if } \delta(t) \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

식(4)를 이용하여 마지막 비디오 프레임에서 시작하여 역순으로 계산함으로써, 연속적인 전송을 위해 매 라운드마다 필요한 클라이언트의 버퍼 크기 정확히 계산할 수 있다. 이

1) 비디오 서버의 동작 라운드는 이산적인 시간단위 기반으로 하지만, 여기서는 아이디어를 확실히 전달하기 위해 지금부터는 연속적인 시간 표기법을 사다.



(그림 2) 기본 전송 스케줄

런 방식으로 얻어진 전송 스케줄을 기본 전송 스케줄이라고 한다.

(그림 2)는 앞서 언급한 절차를 통해 얻은 기본 전송 스케줄의 한 예이다. (그림 2)는 직관적으로 다음과 같이 설명할 수 있다. 주어진 비디오의 누적 곡선 $C(t)$ 와 기울기가 r 인 직선 L 을 가정해보자. 직선 L 을 시간축을 따라 왼쪽에서 오른쪽으로 이동시킴에 따라 L 과 $C(t)$ 는 여러 점에서 접하거나 교차하게 된다. 예를 들어, L 과 $C(t)$ 는 (그림 2)의 t_3 에서 접하고 동시에 t_2 에서 교차한다. 이는 해당 구간에서 연속적 재생을 보장하기 위해서는 구간 $[t_2, t_3]$ 동안 전송률 r 로 전송되어야 함을 의미한다. 그 이유는 구간 $[t_2, t_3]$ 중에는 재생에 필요한 평균 비트율이 대역폭 할당 r 보다 큰 라운드 t 가 존재하기 때문이다. 구간 $[t, t_3]$ 에서 예상되는 재생의 불연속을 방지하기 위해서는 $[t_2, t]$ 동안 일부 비디오 프레임들이 미리 전송되어야 한다. 반면 $[t_1, t_2]$ 와 같은 구간은 비디오의 프레임율에 맞추어 전송이 이루어져야 하며, 이러한 구간에서의 프레임율은 당연히 대역폭 할당 r 보다 항상 작게 된다.

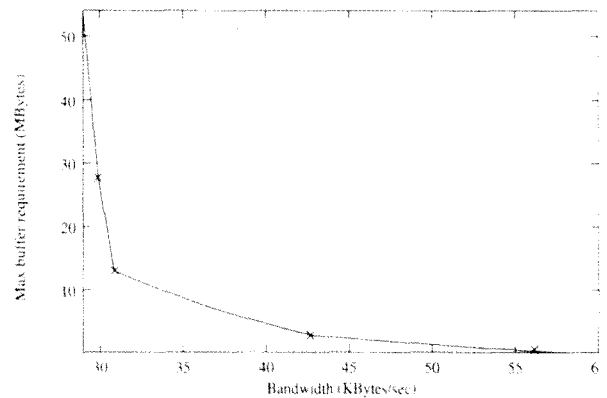
이처럼 네트워크 대역폭 r 을 기울기로 갖는 직선을 움직임에 따라 구간 $[t_2, t_3]$ 와 같은 구간을 쉽게 찾아낼 수 있다. 이러한 절차를 통해 전체 전송 간격을 두 가지 형태의 구간들로 나눌 수 있다. 하나는 전송율이 비디오 프레임의 원래 재생율과 동일한 **가변 전송율 구간**이다.(그림 2에서 구간 (a)에 해당함). 이 구간에서는 비디오 프레임의 전송률은 예약된 전송 대역폭 r 보다 항상 작다. 그리고 다른 하나는 전송이 고정된 네트워크 대역폭이 예약된 전송률 r 로 이루어지는 **고정 전송율 구간**이다(그림 2에서 구간 (b)에 해당함). 결과적으로 기본 전송 스케줄에서는 한 비디오의 전체 전송 구간이 가변 전송율 구간과 고정 전송율 구간이 교대로 반복하여 나타나는 형태가 된다.

기본 전송 스케줄의 경우 클라이언트 측의 버퍼 요구량과 시작 지연 시간은 다음과 같다. 우선 시간 t 에서의 클라이언트

의 버퍼 수준은 $b(t) = P(t) - C(t)$ 이고, 클라이언트에서의 최대 버퍼 요구량은 $B_{MAX} = \text{MAX} \{b(t)\}$ 이다. 따라서 기본 전송 스케줄을 사용하는 경우의 시작 지연 시간은 다음과 같다.

$$t_d = \frac{\text{MAX}\{b(t)\}}{r}, 0 \leq t \leq n \quad (5)$$

기본 전송 스케줄 하에서는 할당된 네트워크 전송 대역폭과 클라이언트의 버퍼 크기 간에 일정한 관계가 성립한다. 이러한 네트워크 대역폭 할당과 클라이언트 버퍼 간의 관계는 특정 비디오 클립의 고유한 특징이다. (그림 3)은 실제 비디오 트레이스에 대한 네트워크 대역폭과 클라이언트 버퍼 요구량 간의 관계를 나타내는 곡선이다. 이 곡선은 VBR 비디오에 대한 유용한 메타 정보로 활용될 수 있다. 즉, 이 정보는 서비스 시작 시의 수용 제어에 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 최초의 네트워크 대역폭 할당 시의 초기값을 구하는 데에도 사용될 수 있다.



(그림 3) 전송율 vs. 최대 버퍼요구량

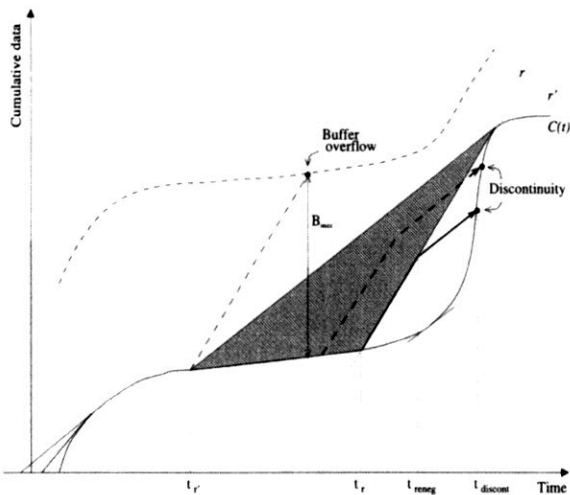
3.2 대역폭 재협상을 고려한 연속적 전송

앞서 언급한 바와 같이, 인터넷을 통한 비디오 스트리밍 서비스에서는 일반적으로 네트워크 혼잡에 적응하기 위한 대역폭 조정 프로토콜을 사용한다. 이러한 대역폭 조정 기법은 전송 대역폭의 할당과 전송 스케줄의 계산에 크게 영향을 미친다. 본 절에서는 대역폭 조정을 고려한 연속적 전송 기법에 대해 다룬다. 특히 본 절에서는 기본적인 비디오 전송 프로토콜로 RTP를 사용하고, RTCP를 통해 전송 품질에 대한 피드백을 받아 스트리밍 도중에 전송율을 조정하는 경우를 가정한다.

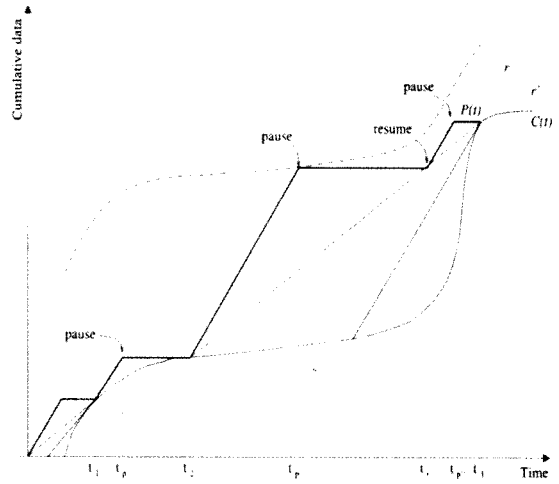
RTP/RTCP 를 사용하여 통신하는 비디오 서버와 클라이언트 간의 전형적인 동작은 다음과 같다[12]. 우선 비디오 서버는 비디오 프레임을 일련의 RTP 패킷으로 나눈 뒤, 각 RTP 패킷마다 타임 스탬프와 일련 번호를 붙여 클라이언트로 전송한다. 각 클라이언트는 주기적으로 receiver report라

고 하는 RTCP 패킷을 서버로 전송한다. 이 리시버 리포트에는 가장 최근에 받은 RTP 패킷 번호, 도착 시간 간격, 라운드트립 지연 계산을 위한 타임스탬프 등의 수신 품질에 대한 피드백이 담겨 있다. 비디오 서버는 이러한 RTCP 패킷을 통해 현재 클라이언트가 느끼고 있는 네트워크 상태에 대해 판단할 수 있으며, 그에 따라 전송율을 조정할 수 있다. 본 논문에서는 전송율 조정 시 전송율이 감소하는 경우만을 고려한다. 실제 경우에서 스트리밍 도중 전송율이 증가하는 경우는 매우 드물기 때문에, 여기서는 스트리밍 도중에 전송율이 감소하는 경우만 다루도록 하겠다. 또한 전송율 변화에 일정한 하한이 있는 것으로 가정한다.

(그림 4)는 초기 전송율이 r 인 비디오에 대해 본 절에서 제안하는 전송율 감소를 고려한 전송 기법에 따른 전송 스케줄을 나타내고 있다. 우선 시각 t_r 에서 시작하는 고정전송율 구간에 대해 살펴보자. 네트워크 혼잡이 t_{reneg} 에서 탐지되어 전송율이 r 에서 r' 으로 감소한 경우를 가정하면, $t_{discont}$ 에서 재생의 연속성이 깨지게 된다. 그 이유는, 비록 t_r 이 최소 버퍼로 연속적 재생을 보장할 수 있는 최종 시점이기기는 하지만, t_{reneg} 에서 전송율이 감소하는 경우, t_r 에서 r 로 전송을 시작하는 것이 너무 늦기 때문이다. 이는 $[t_r, t_r]$ 구간 내의 어떤 시점에 전송을 시작하여도 마찬가지이다. 그림 4에서 보는 바와 같이, 전송율 감소에도 불구하고 연속적 재생을 보장하기 위해서는 전송을 반드시 t_r 또는 그 이전에 시작해야 한다. (t_r 는 전송율 r' 로 전송을 시작하는 시각이다). 그러나, 이처럼 재생의 연속성을 위해 일찍 전송을 시작하는 것은 또다른 문제를 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 시각 t_r 에 전송율 r 로 전송을 시작하는 경우를 가정해 보면, 이는 클라이언트 측에서 버퍼 오버플로우를 발생시키게 되고, 이는 또다른 재생의 불연속을 가져오게 된다.



(그림 4) 대역폭 할당 감소로 인한 불연속의 발생



(그림 5) 전송율 조정을 고려한 새로운 전송 스케줄

결과적으로 우리는 전송율 조정을 고려하는 경우 연속적 전송 스케줄에 대한 두 가지 제약 조건을 가지게 된다. 그 하나는 전송율 조정을 고려하면서 재생의 연속성을 보장하기 위해서는 전송 스케줄이 항상 기울기 r' 인 직선 위에 존재해야 한다는 것이다. 또다른 하나는 전송 스케줄이 항상 점선 아래 놓이도록 하기 위해서 잠시 전송을 멈추거나 전송율을 떨어뜨리는 구간이 필요하다는 것이다.

(그림 5)는 위의 두 가지 제약 조건을 모두 만족하는 새로운 전송 스케줄의 예를 나타내고 있다(그림의 굵은 실선). 그림에서 점선은 클라이언트 측의 최대 버퍼 조건을 나타낸다. 두 개의 전송율 r 과 r' 에 대해, 전송율이 r' 인 경우의 기본 전송 스케줄의 구간들을 따라 동작한다. 즉, 기본 스케줄의 가변전송율 구간에서는(예를 들면 $[t_1, t_2]$ 구간) 전송율 r 로 전송이 시작되며, 누적 전송량이 누적 비디오 프레임 크기와 동일해지는 t_p 에서 전송이 일단 멈추게 된다. 이러한 전송의 일시 정지는 가변전송율구간의 끝인 t_2 까지 지속된다. $[t_2, t_3]$ 와 같은 고정전송율구간의 경우, 비디오 서버는 마찬가지로 r 로 전송을 시작하고, 버퍼가 가득 차게 되는 t_p' 에서 전송을 멈춘다. 그 후 누적 전송량이 기본 스케줄의 경우와 같아지는 지점 t_r 에서 전송을 재개한다. 비디오 서버는 누적 전송량이 누적 비디오 프레임 크기와 동일해지는 t_p'' 에서 전송을 다시 멈춘다.

3.3 전송 스케줄의 계산

다음은 전송율 조정을 고려한 새로운 전송 기법에서 매 라운드마다 전송해야 할 비디오 데이터의 양을 계산하는 알고리즘이다. 이 알고리즘에서는 우선 기본 전송 스케줄에서의 구간들에 대한 정보를 계산한다. 이 정보에는 고정율전송구간과 가변율전송구간과 함께, 각 구간의 시작 프레임과 마지막 프레임 (t_s 와 t_e), 그리고 이 프레임에서의 누적 비디오 프레임 크기 ($C(t_s)$ 와 $C(t_e)$) 등이 포함된다. 알고리즘은

(그림 5)에서 설명한 방법에 따라 각 구간에 대한 $p(t)$ 를 출력한다. 이 알고리즘의 복잡도는, n 이 비디오 프레임 개수이고 m 이 기본 스케줄의 구간의 개수인 경우, $O(m+n)$ 이다. 이 알고리즘은 비디오 서버의 전송 스케줄러 안에서 구현될 수 있으며, 효율적 전송을 위해 스트리밍이 시작되기 전에 미리 계산될 수도 있다.

Transmitting a VBR stream considering rate adjustment

```

Input:  sequence of frame sizes,  $c(t)$ 
        initial transmission rate,  $r$ 
        minimum transmission rate expected,  $r'$ 
        client's maximum buffer requirement,  $B_{max}$ 
output: transmission schedule,  $p(t)$ 

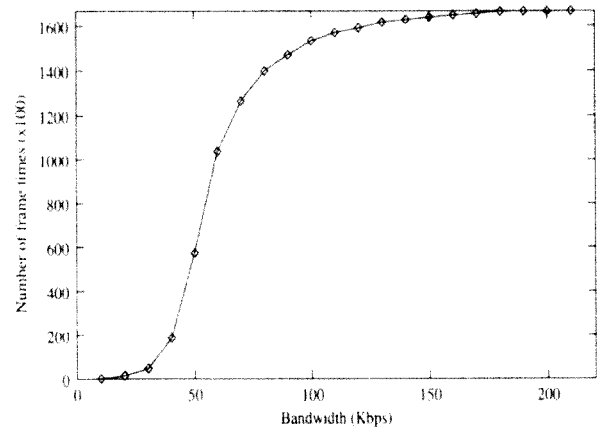
1  Identify fixed-rate intervals and variable-rate intervals using  $r'$ ;
2  for (each interval)
3       $t_s$  = starting frame time of interval
4       $t_e$  = ending frame time of interval
5       $t = t_s$ 
6      if (variable-rate interval) then
7           $p_{sum} = C(t_s)$ ;
8           $c_{sum} = C(t_s)$ ;
9          repeat
10             if ( $p_{sum} < C(t_e)$ ) then
11                  $p(t) = r$ ;
12             else
13                  $p(t) = 0$ ;
14             endif
15              $p_{sum} = p_{sum} + p(t)$ ;
16              $c_{sum} = c_{sum} + c(t)$ ;
17              $t = t + 1$ ;
18         until ( $t >= t_e$ )
19     else
20          $p_{sum} = C(t_s)$ ;
21          $p^2_{sum} = C(t_s)$ ;
22          $c_{sum} = C(t_s)$ 
23         paused = FALSE;
24         repeat
25             if (not paused) then
26                  $p(t) = r$ ;
27                  $p_{sum} = p_{sum} + p(t)$ ;
28                  $p^2_{sum} = p^2_{sum} + r^2$ ;
29                  $c_{sum} = c_{sum} + c(t)$ ;
30                 if ( $p_{sum} >= c_{sum} + B_{max} \parallel p_{sum} >= C(t_e)$ ) then
31                     paused = TRUE;
32                 Endif
33             Else
34                  $p(t) = 0$ ;
35                  $p^2_{sum} = p^2_{sum} + r^2$ ;
36                  $c_{sum} = c_{sum} + c(t)$ ;
37                 if ( $p_{sum} <= p^2_{sum}$ ) then
38                     paused = FALSE;
39                 Endif
40             Endif
41              $t = t + 1$ ;
42         until ( $t >= t_e$ )
43     Endif
44 Endfor
    
```

4 성능 평가

이 절에서는 실제 비디오 파일의 트레이스를 사용하여 제안된 전송 기법에 대한 모의 실험을 통한 성능 평가 결과에 대해 소개한다.

(그림 6)은 기본 전송 스케줄 하에서의 가변전송율구간의 분포를 나타내고 있다. 예약된 네트워크 대역폭 할당이 늘어날수록, 가변전송율구간에 속하게 되는 라운드의 수가 급격히 늘어게 되는 것을 알 수 있다. 이는 네트워크 대역폭 할당이 큰 경우, 대부분의 라운드가 가변전송율구간에 포함되어, 대부분의 경우 비디오의 프레임율에 따라(가변적으로) 전송됨을 의미한다. 다시 말하면, 대역폭 할당이 늘어나면 할당된 네트워크 대역폭의 많은 부분이 전송에 사용되지 않고 낭비됨을 의미한다.

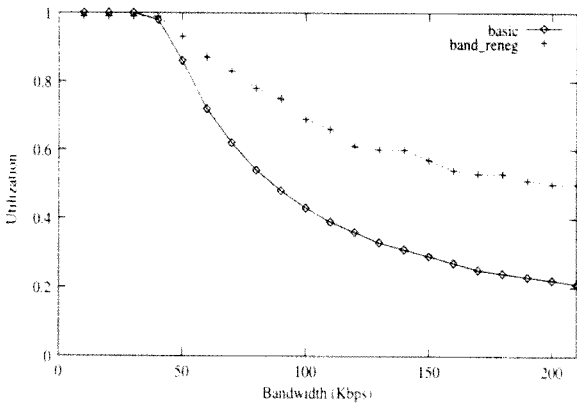
<표 2>에서는 제안된 전송 기법에 대한 전송율 가변성을 최적 스무딩을 사용한 경우와 비교하였다. <표 2>는 여러 경우의 클라이언트 버퍼 크기에 대해 최대/최소의 전송율을 보이고 있다. 본 논문에서 제안된 전송 기법의 경우, 전송 중간에 잠시 전송을 멈추는 경우를 제외하고는 항상 일정한 전송율을 가지게 된다. 제안된 기법은 최적의 경우에 비해 약간 가변성이 높은 것으로 나타나고 있으나, 클라이언트의 버퍼 크기가 커짐에 따라 그 차이는 점차 줄어들고 있다. 더욱이 클라이언트 버퍼의 크기가 늘어나면서, 중간에 전송을 멈추는 구간의 길이가 짧아지게 되며, 이는 가변성이 줄어들음을 의미한다.



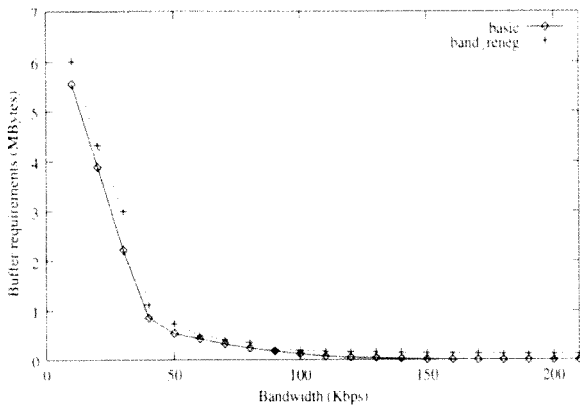
(그림 6) 가변율 전송 구간의 분포

<표 2> 전송율 가변성의 비교

	Optimal smoothing	The proposed scheme
Client buffer - 2 Mbytes	43,769/12,938	50,033
4 Mbytes	43,769/19,384	48,230
8 MBytes	43,769/24,743	45,928



(그림 7) 대역폭 활용도의 비교



(그림 8) 버퍼 요구사항의 비교

(그림 7)은 기본 전송 기법과 제안된 기법 간의 네트워크 대역폭 활용도를 비교하고 있다. 3.2절에서 언급한 바와 같이, 전송율 조정 시의 불연속을 방지하기 위해, 제안된 전송 기법에서는 기본 전송 기법보다 훨씬 일찍 전송을 시작하게 되며, 기본 전송 기법의 경우와는 달리 가변율 전송 구간을 가지고 있지 않다. 따라서, 할당된 전송 대역폭의 활용도는 제안된 기법이 훨씬 높은 것으로 나타나고 있다.

반대로 제안된 기법에서는 기본 전송 기법보다 많은 버퍼 요구 사항을 가지고 있다. 대역폭 조정에 따른 대비를 하기 위해 추가의 버퍼 사용은 불가피한 것이지만, 제안된 기법에서는 대역폭 변경 크기가 제한된 경우, 그에 따른 버퍼 요구의 증가도 제한적이다.

5. 결 론

본 논문에서는 인터넷 상의 비디오 스트리밍을 위해 피드백 프로토콜을 고려한 새로운 VBR 비디오 전송 기법을 제안하였다. 주어진 일정 크기의 클라이언트 버퍼 하에서, 제안된 기법은 우선 고정율 기반의 기본 전송 스케줄을 생성한다. 이러한 전송 스케줄 생성은 비디오 프레임에 대한 사

전 정보 등을 활용해 스트리밍이 시작되기 전에 오프라인으로 처리될 수 있다. 제안된 기법은 이러한 기본 전송 스케줄을 기반으로 스트리밍 도중의 전송율 변화를 고려한 새로운 전송 스케줄을 생성해 낸다. 제안된 전송 기법에 대한 성능 평가 결과, 적은 버퍼 요구량 증가만으로, 대역폭 할당을 수용하면서 네트워크 대역폭 활용도가 높은 전송이 이루어질 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] D. Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications," *Communications of the ACM*, Vol. 24, No.4, pp.59-63, 1991.
- [2] T. T. J.-C. Bolt and I. Wakeman, "Scalable feedback control for multicast video distribution in the internet," In *Proceedings of ACM SIGCOMM '94*, pp.58-67, Sep., 1994.
- [3] H. Zhang and E. W. Knightly, "Red-vbr: a renegotiation-based approach to support delay-sensitive vbr video," *ACM Multimedia Systems*, Vol.5, pp.164-176, May, 1997.
- [4] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP: a transport protocol for real-time applications," RFC1889, Jan., 1996.
- [5] D. J. Gemmell, H. M. Vin, D. D. Kandlur, P. V. Rangan, and L. A. Rowe, "Multimedia storage servers: a tutorial and survey," *IEEE Computer*, Vol.28, No.5, pp.40-49, May, 1995.
- [6] E. W. Knightly, D. E. Wrege, J. Liebeherr, and H. Zhang, "Fundamental limits and tradeoffs of providing deterministic guarantees to vbr video traffic," In *Proceedings of ACM SIGMETRICS '95*, pp.98-107, May, 1995.
- [7] J. Salehi, Z.-L. Zhang, J. Kurose, and D. Towsley, "Supporting stored video: reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing," In *Proceedings of ACM SIGMETRICS '96*, pp. 222-231, May, 1996.
- [8] J. M. McManus and K. W. Ross, "Video on demand over atm: constant-rate rate transmission and transport," In *Proceedings of IEEE INFOCOM '96*, pp.1335-1362, Mar., 1996.
- [9] S. Paek and S. Chang, "Video server retrieval scheduling for variable bit rate scalable Video," In *Proceedings of IEEE Int'l Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp. 108-112, Jun., 1996.
- [10] N. Shro and M. Schwartz, "Video modelling withing networks using deterministic smoothing at the source," In *Proceedings of IEEE INFOCOM '94*, pp.342-349, Jun., 1994.
- [11] D. Ferrari and D. Verma, "A scheme for real-time channel establishment in wide-area networks," *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol.8, pp.368-379, April,

1990.

[12] I. Busse, B. Deffner, and H. Schulzrinne, "Dynamic qos control of multimedia applications based on RTP," Computer Communications, Vol.19, pp.49-58, 1996.

손 성 훈



e-mail : shson@smu.ac.kr
1991년 서울대학교 계산통계학과(학사)
1993년 서울대학교 대학원 전산학과(이
학석사)
1999년 서울대학교 대학원 전산학과(이
학박사)

1999년~2004년 한국전자통신연구원 선임연구원
2004년~현재 상명대학교 소프트웨어학부 교수
관심분야: 멀티미디어, 시스템소프트웨어, 임베디드시스템

백 윤 철



e-mail : ybaek@smu.ac.kr
1988년 서울대학교 계산통계학과(학사)
1990년 서울대학교 대학원 전산학과(이
학석사)
1995년 서울대학교 대학원 전산학과(이
학박사)

1996년~현재 상명대학교 소프트웨어학부 교수
관심분야: 멀티미디어 시스템, 운영체제, 임베디드시스템