

대화형 오퍼레이션 후 비디오 스트림의 대역폭 평활화를 이용한 전송 스케줄 재작성

정희원 이재홍*, 전병호*, 김태균*

A Study on the Rescheduling for the Playback Restart of the VBR Video Streams after Interactive Operations Utilizing Bandwidth Smoothing Scheme

Jae Hong Lee*, Byeong Ho Jeon*, Tae Kyun Kim*, *Regular Members*

요 약

ATM기반 B-ISDN의 출현과 함께 MPEG과 같은 데이터 압축 부호화가 표준화되면서 멀티미디어 응용에 대한 연구가 최근 매우 활발하게 진행되고 있다. 가변 비트율 모드로 부호화된 비디오 데이터는 프레임 유형에 따라 매우 폭주적인 트래픽을 보이므로 이를 망으로 전송하기 위해서는 지나치게 큰 대역폭을 필요로 한다. 따라서 대역폭 요구를 줄이기 위한 방안으로 비디오 데이터의 재생전에 충분한 데이터를 클라이언트의 버퍼로 선인출하는 대역폭 평활화 방안이 많이 사용되어 왔다. VCR 기능을 제공하는 대화형 주문형 비디오(VOD) 서비스에서는 사용자의 대화형 서비스 요구를 지원한 후에, 중단된 비디오 프레임의 재생을 다시 시작해야 한다. 이를 위해 서버는 새로운 프레임 위치로부터 잔여 프레임들을 클라이언트로 전송하기 위해 전송 스케줄 정보를 재작성해야 한다. 본 논문에서는 기존 분배형 VOD 서비스에 적합한 대역폭 평활화 방안을 이용하면서 대화형 오퍼레이션 후에 임의의 선택된 프레임 위치로부터 전송 스케줄을 작성하는 경우에 서로 다른 초기 재생 지연을 가지는 전송 스케줄들이 서로 수렴한다는 특성을 이용하여 적은 계산량과 스케줄 정보를 가지며 사용자가 허용할 수 있는 재생 지연 범위 내에서 고정된 재생 시작 지연을 가지는 스케줄링 방안을 제안한다. 또한, MPEG-1 비트율 데이터를 대상으로 제안한 방안과 기존 방안에 대해 성능 평가를 수행하였다.

ABSTRACT

Recently, a number of studies have focused on multimedia applications after the emergence of the ATM based B-ISDN and data compression techniques such as MPEG. Due to bursty traffic characteristics of the Variable Bit Rate MPEG video data, in order to transmit video streams, Bandwidth Smoothing Schemes prefetching sufficient data from the server, have been provided to reduce the Bandwidth Requirements. In the Interactive VOD service providing VCR operations (Fast Forward, Rewind, Pause, etc.), after the users requested interactive operations, the playback of the paused video frame is restarted. For this purpose, the server has to reschedule the transmission information at a new frame position in the stream in order to transmit the remainder of the stream to the client. In this paper, we propose a Rescheduling Scheme for the Playback Restart of the VBR Video Streams, that is adaptive for the interactive VOD service with a few calculations and information of the scheduling while applying the identical bandwidth smoothing scheme suitable for the distributive VOD service. And we analyzed the performance of the proposed scheme using the VBR MPEG-1 bit trace data.

* 공주문화대학 산업영상과(jhlee@comeny.chungnam.ac.kr)

** 충남대학교 컴퓨터공학과 교수

논문번호 : 98274-0629, 접수일자 : 1998년 6월 29일

* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단(과제번호 : 1997-004-E00194)의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

I. 서론

ATM 망에서 MPEG 비디오의 주요 응용으로 저장된 비디오를 대상으로 한 주문형 비디오 (VOD : Video-On-Demand) 서비스가 유력시 되고 있다. VOD 서비스는 VCR 기능 (빠른 재생, 되감기, 멈춤 등)과 같은 사용자의 대화형 서비스 요구를 지원하는 대화형 VOD 서비스와 이를 지원하지 않는 분배형 VOD 서비스로 분류될 수 있으며, 대화형 VOD 서비스가 향후 중요한 멀티미디어 응용으로 기대된다^[1].

비디오 데이터는 효율적인 전송 및 저장을 위해 압축되며, 일정한 품질을 유지하기 위해 가변 비트율 (VBR : Variable Bit Rate) 모드의 MPEG 기법으로 부호화된다^[2]. 그러나 가변 비트율 모드의 MPEG으로 부호화된 비디오 데이터는 높은 압축률을 위해 예측 부호화를 이용하므로 프레임 사이에 매우 다른 비트율을 보인다. 따라서, 이를 그대로 망으로 전송하는 경우에 지나친 자원 낭비를 초래한다. 그러므로 망의 자원을 효율적으로 이용하기 위해서 비디오 데이터는 폭주적 트래픽 특성을 줄여 전송되어야 한다.

가변 비트율로 부호화되어 저장된 비디오를 대상으로 한 대역폭 할당 방안으로 클라이언트의 버퍼 점유율을 고려한 대역폭 평활화(smoothing)가 많이 사용되어 왔다^[3,4,7]. 저장된 비디오는 실시간 비디오와는 달리 전송전에 전체 비디오 스트림의 통계적 특성을 알 수 있으므로 클라이언트에서 비디오 데이터를 재생하기 전에 서버에서 충분한 데이터를 선인출(prefetch)하여 최소한의 대역폭으로 클라이언트의 버퍼로 비디오 데이터를 전송하는 대역폭 평활화 방안이 매우 효과적이다. 전송 대역폭을 낮추고 대역폭 변경 횟수를 줄이기 위한 방법으로 클라이언트측의 큰 버퍼 요구와 함께 서버측에서는 비디오 데이터의 선인출 시점을 앞당기게 된다. 이로 인해 클라이언트측의 초기 재생 시작 지연(initial playback startup delay)이 크게 되어 재생 지연에 민감한 대화형 서비스에는 적용하기 어렵다.

기존의 분배형 VOD 서비스에 대역폭 평활화를 적용하여 대화형 서비스를 지원하기 위한 여러 가지 방안들이 제안되었다^[5,6,8].

Feng은 사용자의 VCR 기능 요구에 빠른 응답 시간을 제공하기 위해 클라이언트에 평활화 버퍼 외에 재생은 되었으나 아직도 버퍼에 남아 있는 데이터를 저장하는 별도의 VCR 버퍼를 둬으로써 이 버퍼 내의 데이터를 대상으로 제한된 VCR 기능을 제공하고 있다^[5,6]. 한편, VCR 버퍼 범위 외의 데이터를 액세스

하기 위해서 Feng은 대화형 서비스를 위해 망의 대역폭 일부를 확보해 두는 예비 채널(contingency channel) 개념^[10]을 이용하였다. 그러나, 이 방안은 25~50MByte의 평활화 버퍼에 15~30초 분량의 VCR 기능 지원을 위해 추가로 8Mbyte 이상의 메모리를 필요로 한다.

Dey는 대역폭 평활화에 기반한 전송 스케줄을 유지하면서 대화형 서비스 종료 후 선택된 프레임 위치로부터 정상적인 재생이 이루어지는 사이의 시간을 줄이기 위한 방안을 제안하였다^[8]. 이 방안에서는 선택된 프레임 위치로부터 비디오 스트림의 최대 비트율로 전송하여 클라이언트측 버퍼가 언더플로우가 되지 않으면서 정상적인 재생이 이루어지는 전송 스케줄에 도달할 때까지의 버퍼링 값을 구하여 모든 프레임마다 비디오 데이터와 함께 기록하고 있다. 정상적인 재생이 이루어지는 전송 스케줄에 도달한 프레임 위치로부터는 스케줄에 의해 할당된 대역폭으로 전송을 계속한다. 그러나 이 방안은 클라이언트의 버퍼 크기가 커질수록 허용할 수 없는 큰 재생 시작 지연을 가진다. 또한, 선택된 프레임 위치로부터 비디오 스트림의 잔여 프레임들을 고려하지 않고 전체 비디오 스트림의 통계적 특성을 고려하여 작성된 전송 스케줄을 그대로 유지하므로 대화형 오퍼레이션 후에 선택된 프레임 위치에서는 서버의 스케줄이 최적일 수 없다. 그러므로, 대화형 오퍼레이션 후에는 선택된 프레임 위치로부터 아직 전송되지 않은 프레임들을 고려한 전송 스케줄을 다시 작성하는 것이 바람직하다. 그러나, 모든 프레임 위치에 대해 잔여 프레임들을 고려한 대역폭 평활화를 적용하여 전송 스케줄을 구하는 것은 대역폭 평활화의 계산상의 복잡도로 인하여 오버헤드가 매우 크며 스케줄 정보도 많아지게 되므로 새로운 스케줄 작성 방안이 필요하다.

본 논문에서는 분배형 VOD 서비스에 많이 활용되는 대역폭 평활화를 이용하여 대화형 오퍼레이션 후에 선택된 프레임 위치로부터 서버의 전송 스케줄을 다시 작성하는 방안을 기술한다. 이 방안은 선택된 프레임 위치로부터 재생이 되지 않은 비디오 스트림의 잔여 프레임들을 모두 고려하지 않고도 서로 다른 초기 재생 시작 지연을 가지는 전송 스케줄들이 특정 프레임 위치에서 서로 수렴(converge)한다는 특성을 이용하여 쉽게 전송 스케줄을 재작성할 수 있도록 해 준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 서버의 전송 스케줄과 대역폭 평활화 방안에 대해 간략하게

소개하고, III장에서는 대화형 서비스의 종료 후 새로운 프레임 위치로부터 전송 스케줄을 재작성하는 방안에 대해 기술하고, IV장에서는 MPEG-1 비트율 데이터를 이용하여 제안된 방안에 대해 성능 평가를 수행하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 대역폭 평활화 전송 스케줄

1. 분배형 VOD 서비스의 대역폭 평활화

대역폭 평활화는 클라이언트측 버퍼 크기 B와 초기 재생 시작 지연 d_{pr} 내에서 버퍼 오버플로우와 버퍼 언더플로우 없이 최대 비트율, 대역폭 변화 범위, 대역폭 변경 횟수, 대역폭 증가 횟수 등의 평활화 조건들을 충족하면서 비디오 스트림을 전송하기 위한 대역폭 할당 스케줄을 구하는 데 사용된다^[11]. 즉, 그림 1에서 누적된 데이터 양이 D이고 프레임 위치가 n 일 때 $n=0, D=P(n), D=A(n), D=C_{total}, n=N$ 의 5개의 선으로 둘러싸인 영역에서 주어진 평활화 조건들을 만족하는 $R(n)$ 을 구하는 문제로 볼 수 있다^[7]. $R(n)$ 은 비디오 서버가 n번째 프레임까지 클라이언트로 전송한 누적된 데이터 양이며, 동일한 기울기를 가지는 프레임들이 하나의 세그먼트 S_i 를 이룬다. 비디오 서버는 세그먼트 S_i 에 대해 시작 프레임 위치 F_i 로부터 마지막 프레임 위치 $F_i + L_i$ 까지 $R(n)$ 의 기울기 SL_i 를 이용하여 식 (1)에 의해 대역폭 R_i 를 할당한다. 식 (1)에서 L_i 는 S_i 의 길이이며 R_{play} (프레임/초)는 프레임 재생 속도이다.

$$SL_i = \frac{R(F_i + L_i) - R(F_i)}{L_i} \quad (1)$$

$$R_i = \frac{SL_i}{R_{play}}$$

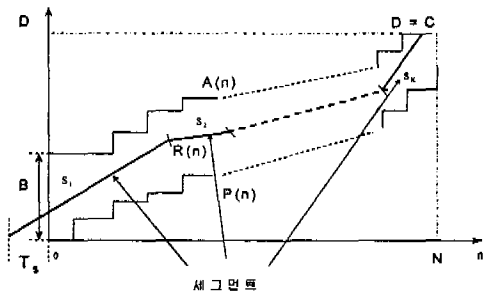


그림 1. 대역폭 평활화 모델
Fig. 1 Bandwidth Smoothing Model

비디오 스트림 M의 총 프레임 수가 N이고, i번째 프레임의 크기가 x_i 일 때, 식 (2)에서 C_{total} 은 비디오 스트림 M의 프레임들의 누적된 데이터 양이며, 식

(3)에서 $P(n)$ 은 클라이언트에서 재생되어 n번째 프레임까지 누적된 데이터 양이고, 식 (4)에서 $A(n)$ 은 프레임 위치 n에서 클라이언트 버퍼가 수용할 수 있는 데이터 양을 나타낸다.

비디오의 연속적인 재생을 위해 서버는 클라이언트의 버퍼 점유율을 고려하여 식 (5)에서와 같이 버퍼가 오버플로우와 언더플로우가 되지 않는 범위인 $P(n)$ 과 $A(n)$ 사이에서 주어진 평활화 조건들을 만족하도록 $R(n)$ 을 위치시키는 전송 스케줄을 작성하여야 한다. $R(n)$ 은 평활화 조건들에 의해 기울기가 다른 여러 선분으로 이루어지며, 동일한 기울기를 가지는 프레임들이 하나의 세그먼트를 이루고, $R(n)$ 의 기울기가 바뀌는 프레임 위치가 새로운 세그먼트를 이루는 시작 프레임 위치가 된다.

$$C_{total} = \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

$$P(0) = 0, P(n) = \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$A(0) = B, A(n) = \min \{ B + P(n-1), C_{total} \}, 1 \leq n \leq N \quad (4)$$

$$P(n) \leq R(n) \leq A(n) \quad (5)$$

2. 서버의 전송 스케줄

비디오 서버는 각 비디오 스트림에 대하여 비디오 데이터 외에 클라이언트의 버퍼 크기 B, 최적의 초기 재생 시작 지연 d_{pr} , 전송 스케줄 TS로 구성된 스케줄 정보 M을 함께 유지한다. 전송 스케줄 TS는 동일한 대역폭이 할당되는 프레임들로 이루어진 세그먼트들에 대한 정보를 포함한다. i번째 세그먼트 S_i 에 대한 정보는 시작 프레임 위치 F_i , 세그먼트 길이 L_i , 할당된 대역폭 R_i 로 구성된다^[7].

비디오 서버는 망에 대한 대역폭 요구를 최소화하기 위해 클라이언트의 재생 시작 시각보다 d_{pr} 전에 비디오 데이터를 선인출하여 식 (6)의 스케줄 정보를 이용하여 임의의 세그먼트 S_k 의 시작 프레임 위치 F_i 로부터 종료 프레임 위치 $F_i + L_i$ 까지 고정된 대역폭 R_i 로 데이터를 전송한다. 비디오 서버는 세그먼트 S_k 내 프레임들을 모두 전송한 후에 S_k 에 할당되었던 대역폭 R_i 를 해제하고, 세그먼트 S_{k+1} 이 시작하기 전에 이 세그먼트에 필요한 대역폭 R_{k+1} 을 할당 받기 위해 망과 재협상을 시도한다. 한편, 최적의 초기 재생 시작 지연 d_{pr} 을 찾기 위해서는^[7,9]의 방안을 이용할 수 있다.

$$M = \{ B, d_{pr}, TS \}$$

$$TS = \{ S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_k \} \quad (6)$$

$$S_i = \{ F_i, L_i, R_i \}$$

Ⅲ. 대화형 오퍼레이션 종료 후 전송 스케줄의 재작성

VCR 기능을 지원하기 위한 대화형 오퍼레이션이 종료된 후 선택된 프레임 위치 f 로부터 정상적인 비디오 데이터의 재생을 위해서는 1) 대화형 서비스를 고려하지 않고 작성된 전송 스케줄 TS를 그대로 이용하는 경우와 2) 프레임 위치 f 로부터 비디오 스트림의 잔여 프레임들을 고려하여 새로운 전송 스케줄을 작성하는 방안이 있다.

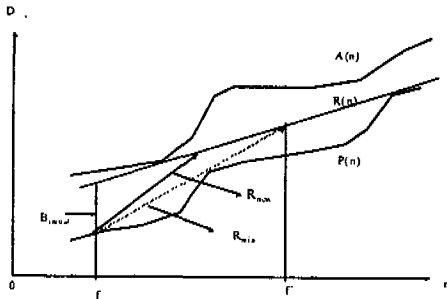


그림 2. 대화형 서비스에 분배형 서비스의 전송 스케줄 적용

Fig. 2 Application of the transmission schedule for the distributive service to the Interactive service

그림 2에서 프레임 위치 f 로부터 정상적인 재생을 위해 비디오 서버는 최소한의 데이터 양으로 식 (7)의 $B_{initial}$ 을 클라이언트로 전송하여야 한다. 이를 위해 프레임 위치 f 로부터 할당되는 대역폭 R_{new} 는 클라이언트의 버퍼가 언더플로우되지 않도록 전송 스케줄 TS의 최대 비트율 R_{min} 보다 커야 한다. 서버가 $B_{initial}$ 을 전송한 후에 클라이언트는 프레임 위치 f 에서 정상적인 재생을 시작할 수 있으나, 이로 인해 $B_{initial}/R_{new}$ 초의 재생 시작 지연이 발생한다.

$$B_{initial} = R(f) - P(f) \quad (7)$$

1)의 경우는 Dey의 방안^[8]을 이용할 수 있으며, 버퍼 크기가 커질수록 허용할 수 없는 큰 재생 지연을 보이며 선택된 프레임 위치에 대해서 기존 전송 스케줄이 최적일 수 없다는 문제점을 안고 있다. 따라서, 본 논문에서는 사용자가 허용할 수 있는 지연 범위 내에서의 재생 지연을 가지며 선택된 프레임 위치에 대해 최적의 전송 스케줄을 구하는 2)의 경우를 고려하였다.

본 논문에서는 대화형 오퍼레이션 종료 후 비디오

서버가 프레임 위치 f 로부터 시작하는 새로운 전송 스케줄을 작성할 때, 계산상의 오버헤드와 스케줄 정보량을 줄이기 위해 비디오 스트림의 잔여 프레임들을 모두 고려하지 않고 이미 작성된 기존 전송 스케줄 정보를 이용하는 방안을 제안한다.

대역폭 평활화를 이용하여 분배형 VOD 서비스를 위한 전송 스케줄을 작성하는 경우, 전송 스케줄의 최대 비트율을 낮추기 위해 비디오 스트림의 재생 시각 전에 전송을 시작한다. 이로 인해 초기 재생 시작 지연이 발생한다. 그림 3으로부터 초기 재생 시작 지연이 다른 경우에도 각 지연에 대한 전송 스케줄이 특정 프레임 위치 p 로부터 서로 동일한 스케줄을 가지게 됨을 알 수 있다. 이것은 그림 1에서 $R(n)$ 의 기울기가 변경되는 프레임 위치, 즉 새로운 세그먼트의 시작 위치에서 대역폭 평활화 알고리즘의 평활화 조건이 만족되므로 임의의 초기 재생 시작 지연을 가지는 전송 스케줄의 $R(n)$ 들이 인접 세그먼트의 시작 위치에서 만나기 때문이다. 이런 결과로부터, 대화형 오퍼레이션 후에 선택된 프레임 위치로부터 잔여 프레임들을 모두 고려한 전송 스케줄을 작성하지 않고도 전송 스케줄이 동일하게 되는 프레임 위치를 찾고, 이 위치 이후의 스케줄은 기존 스케줄을 이용하는 것이 효율적인 것이다.

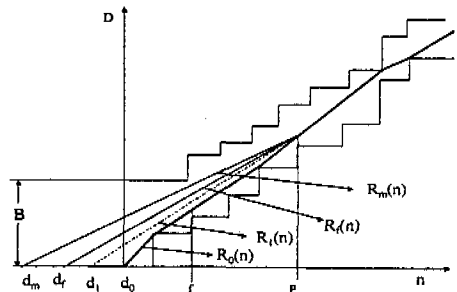


그림 3. 다른 초기 재생 시작 지연을 가지는 전송 스케줄들의 수렴

Fig. 3 Convergence of Transmission Schedules with different initial playback startup delay

본 논문에서는 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치 f 에 대한 전송 스케줄 TS를 작성할 때 초기 재생 시작 지연이 없는 전송 스케줄 TS₀를 참조함으로써 f 이후의 잔여 프레임들을 모두 고려하지 않고도 쉽게 전송 스케줄 TS를 구할 수 있음을 보인다.

그림 3에서 $R_o(n)$, $R_r(n)$, $R_i(n)$, $R_m(n)$ 은 각각 초기 재생 시작 지연이 d_o , d_i , d_r , d_m 프레임인 전송 스케

출들의 $R(n)$ 을 보여 준다.

새로운 전송 스케줄을 작성하기 위하여 기존 스케줄과 수렴(convergence)에 대해 정의한다.

[정의 1] 전송 스케줄 TS_i 와 기존 스케줄 TS_0

재생 시작 프레임 위치가 i 인 전송 스케줄을 TS_i 로 정의한다. 한편, 초기 재생 시작 지연을 가지지 않는 전송 스케줄을 기존 스케줄이라 정의하고 TS_0 로 표기한다.

[정의 2] 수렴 (Convergence)

프레임 위치 p 에서 기존 스케줄 TS_0 와 재생 시작 프레임 위치가 f 인 전송 스케줄 TS_f 가 식 (8)을 만족하는 경우 두 스케줄은 프레임 위치 p 에서 수렴한다고 한다. $R_0(n)$ 은 비디오 서버가 n 번째 프레임까지 기존 스케줄 TS_0 에 따라 클라이언트로 전송한 누적된 데이터 양이며, $R(n)$ 은 전송 스케줄 TS_f 에 따라 클라이언트로 전송한 누적된 데이터양이다.

$$R_0(n) = R_f(n), \quad \forall n \in [p, N] \quad (8)$$

두 전송 스케줄이 수렴하는 위치 p 는 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$p = \min_{f \leq p_i \leq K} \{R_0(p_i) = R_f(p_i)\} \quad (9)$$

식 (9)에 의해 수렴 위치 p 를 구한 후, f 에서의 새로운 전송 스케줄 TS_f 를 구하여 식 (6)과 함께 식 (10)에 추가한다. $TS_{f \rightarrow p}$ 는 재생 시작 위치 f 로부터 수렴 위치 p 까지의 전송 스케줄이다.

$$M' = \{B, d_{opt}, TS_0, TS_f\} \\ TS_f = \{p, TS_{f \rightarrow p}\} \quad (10)$$

MPEG으로 부호화된 비디오 데이터는 GOP(Group Of Pictures) 패턴에 따라 I, P, B 프레임들로 부호화된다. I 프레임은 공간 부호화만으로 생성되며 P나 B 프레임들은 이전 I나 P 프레임들을 이용하여 예측 부호화된다. 그러므로 이런 MPEG의 부호화 특성을 고려하여 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치 f 는 B나 P 프레임이 아닌 I프레임이 되어야 한다. 따라서, 프레임 위치 f 는 식 (11)에 의해 인접 I 프레임 위치 f_0 에 대한 전송 스케줄 정보로 대체되어 새로운 위치 f_0 로부터 비디오 스트림의 재생이 시작된다. 식 (11)에서 L 은 GOP 패턴의 길이를 나타낸다.

$$f_i = \left\lfloor \frac{f}{L} \right\rfloor \times L \quad (11)$$

식 (11)에 의해 구해진 프레임 위치 f_0 에서 비디오 서버의 새로운 전송 스케줄을 구하기 위해 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 $P(n)$ 과 $A_f(n)$ 를 식 (12)와 식 (13)과 같이 정의한다.

$$P_f(0) = P(f_i), \quad P_f(n) = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (12)$$

$$A_f(0) = P_f(0) + B, \quad A_f(n) = \min \{B + P_f(n-1), C_{total}\} \\ 1 \leq n \leq N - f_i, \quad (13)$$

그림 4는 대화형 오퍼레이션이 종료된 후에 새로운 재생 시작 위치가 f 일 때, 식 (11)에 의해 인접 I 프레임 위치 f_0 가 구해지고 기존 스케줄 TS_0 를 이용하여 새로운 전송 스케줄 $TS_{f \rightarrow p}$ 를 구하는 알고리즘을 나타낸다.

알고리즘 Compute_Restart_Schedule

```

입력 :  $f_i, P(n), P_f(n), A_f(n), B, TS_0$ 
출력 :  $p, [f_i, p]$ 까지의 전송 스케줄  $TS_{f \rightarrow p}$ 
start :=  $f_i$ ;
for ( $i=1; i \leq K; i++$ ) {
    if ( $f_i = F_i$ )  $p := F_i$ ;
    else if ( $(f_i > F_i)$  and ( $f_i < (F_i + L_i)$ ))  $p := F_i + L_i$ ;
}
end :=  $p$ ;
 $TS_{f \rightarrow p} :=$  Smoothing(start,end);
add ( $p, TS_{f \rightarrow p}$ ) to  $M$ ;
    
```

그림 4 전송 스케줄 $TS_{f \rightarrow p}$ 을 구하는 알고리즘
Fig. 4 Pseudo code for rescheduling

그림 4에서 $P_f(n)$ 과 $A_f(n)$ 은 각각 프레임 위치 f_0 에서 식 (12)와 식 (13)에 의해 구할 수 있으며, B 는 클라이언트의 버퍼 크기이며, K 는 기존 스케줄 TS_0 의 세그먼트 수이다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 수렴 위치 p 는 대화형 오퍼레이션 종료 후의 새로운 재생 시작 위치 f_0 가 속한 기존 스케줄 TS_0 의 세그먼트 S_i 의 시작 프레임 위치 F_i 나 종료 프레임 위치 $F_i + L_i$ 가 된다. 따라서 새로운 전송 스케줄은 재생 시작 위치 f_0 로부터 수렴 위치 p 까지 대역폭 평활화 알고리즘 Smoothing에 의해 구해진다.

본 논문에서는 기준 스케줄로 초기 재생 시작 지연이 없는 전송 스케줄을 고려했으나, 초기 재생 시작 지연이 d_{opt} 인 전송 스케줄을 기준 스케줄로 정의하고 그림 4의 알고리즘을 적용하여도 각 프레임 위치 f 에 대한 전송 스케줄 TS_{f-p} 를 구할 수 있다.

IV. 실험 및 고찰

III장에서는 대화형 오퍼레이션 종료 후 새로운 재생 시작 위치에서 비디오 서버의 전송 스케줄을 구하기 위한 방안을 제안하였다. 제안된 방안의 성능 평가를 위하여 MPEG-1으로 부호화된 비트율 데이터 [12,13]를 대상으로 실험하였다. 표 1에 실험에 사용된 데이터의 통계치를 보였다. 실험에 사용된 비디오 비트율 데이터의 GOP 패턴의 길이 L 은 모두 12이다.

표 1. MPEG-1 비트율 데이터의 통계치
Table 1. Statistics of experimental MPEG-1 bit trace data

비디오 데이터	평균 크기 (bits)	최대 크기 (bits)	최소 크기 (bits)	폭주성 (burstiness)	프레임수	재생속도 (프레임/초)
term	10,904	79,560	312	7.3	40,000	25
lambs	7,311	134,224	288	18.36	40,000	25
starwars	15,598	185,267	476	11.88	174,136	25

본 실험에서는 III장에서 언급한 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치로부터 정상적인 비디오 재생을 위해 기준 스케줄 TS_0 를 그대로 사용하는 경우와 이를 개선한 Dey의 방법, 그리고 본 논문에서 제안한 전송 스케줄 재작성 방안에 대하여 성능 평가를 수행하였다. 실험에 사용된 대역폭 평활화 알고리즘은 최대 비트율과 대역폭 변화 변위를 최적화하기 위하여 majorization 이론을 이용한 OSA(Optimal Smoothing Algorithm)^[3]와 최대 비트율과 대역폭 변경 횟수를 최소화하기 위하여 모든 대역폭 변경 시점 후보들에 대해 선형 검색을 수행하여 대역폭 변경 시점을 찾는 CBA (Critical Bandwidth Allocation)^[4]를 사용하였다.

그림 2에서 선택된 프레임 위치 f 로부터 비디오의 정상적인 재생을 위해 기준 스케줄을 사용하여 서버가 1-8MByte의 클라이언트의 버퍼로 $B_{initial}$ 을 전송하는 데 소요되는 재생 지연을 그림 5에 보였다. 그림 5에서 R_{new} 로 기준 스케줄 TS_0 의 최대 비트율을 적용하였으며, 대역폭 평활화 방안으로 10초의 초기 재생 시작 지연을 가지는 OSA를 사용하였다. 버퍼 크기가 커질수록 최대 재생 지연이 1MByte의 버퍼

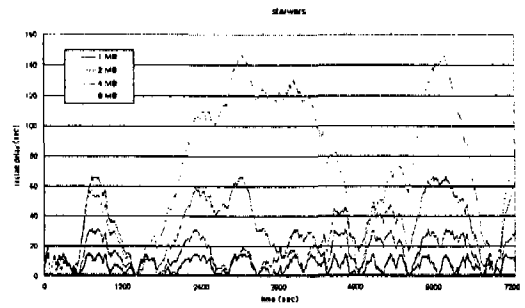
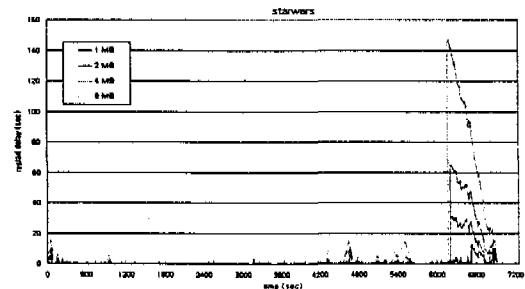
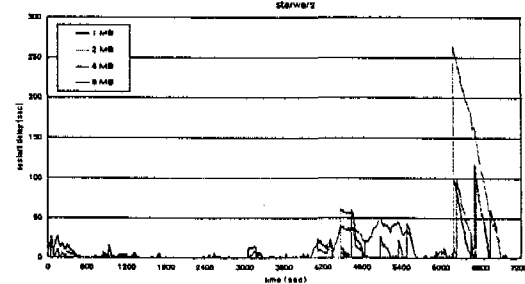


그림 5. TS0 적용 시 각 프레임 위치에서의 재생 지연
Fig. 5 Playback restart delay at each frame position with TS0

에서 15.16초에서 8MByte에서 147.52초로 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 이처럼 기준 스케줄 TS_0 를 그대로 적용하는 경우에는 작은 버퍼 크기에 대해서도 사용자가 허용할 수 없는 큰 재생 지연이 발생함을 볼 수 있다.



a) 초기 재생 시작 지연 없음
No initial playback startup delay



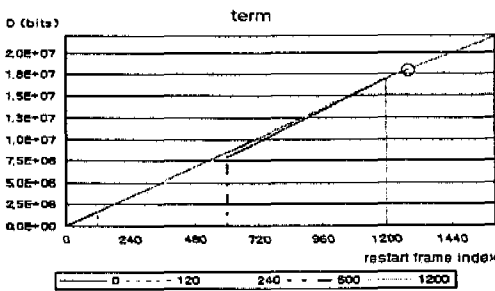
b) 초기 재생 시작 지연이 10초인 경우
Initial playback startup delay with 10 seconds

그림 6. Dey 방안 적용 시 재생 지연
Fig. 6 Playback restart delay with Dey's scheme

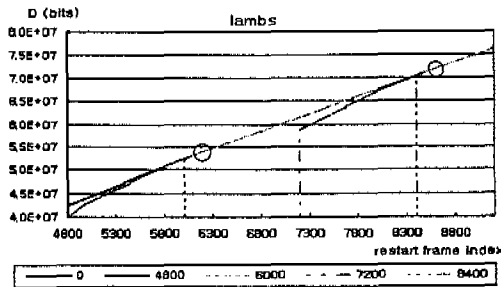
그림 6은 Dey의 방안^[8]을 적용한 경우로 R_{new} 로 기준 스케줄 TS_0 의 최대 비트율을 적용하였으며 대역폭 평활화 방안으로 초기 재생 시작 지연이 없는 경우와 10초의 지연을 가지는 OSA를 사용하였다. a)의

경우에는 대부분의 프레임 위치에서 매우 작은 재생 지연을 가지나 버퍼 크기가 커질수록 6000초에서 7000 초 사이에서 최대 147초의 재생 지연을 가짐을 볼 수 있다. b)의 경우에는 4000초에서 7000 초 사이에서 최대 268초의 허용할 수 없는 매우 큰 재생 지연을 보여 준다. Dey 방안은 그림 5보다는 크게 재생 지연을 감소시키고 있으나, 일부 프레임 위치들에서는 역시 허용할 수 없는 재생 지연을 가진다.

그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이 기준 스케줄을 그대로 이용하는 방안과 Dey 방안은 버퍼 크기가 커질수록 큰 재생 지연을 초래하므로 대화형 오퍼레이션 후 정상적인 재생을 위해서는 선택된 프레임 위치에 대해 새로운 전송 스케줄을 구하는 것이 바람직하다.



a) "term" result with OSA algorithm



b) lambis result with CBA algorithm

그림 7. 재생 시작 위치에 따른 기준 스케줄로의 수렴
Fig. 7 Convergence toward the reference schedule at any restart frame position

그림 7은 클라이언트의 버퍼 크기가 2MByte일 때 재생 시작 위치 f_s 에 따른 TS_{f-p} 의 $R(n)$ 들이 원으로 표시된 각각의 수렴 위치에서 기준 스케줄 TS_0 의 $R_0(n)$ 에 수렴하고 있음을 보여 준다. 그림 7의 a)는 term에 대해 OSA를 적용한 경우에 프레임 위치 f_s 가 120, 240, 600, 1200일 때 1224 프레임에서 기준 스케줄 TS_0 에 수렴하고 있음을 보여 주고 있으며, b)는

lambis에 대해 CBA를 적용한 경우에 재생 시작 위치 f_s 가 4800, 6000일 때에는 수렴 위치가 6111프레임이며 f_s 가 7200, 8400일 때에는 수렴 위치가 8511 프레임임을 보여 준다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 대화형 오퍼레이션 후에 프레임 위치 f 로부터의 전송 스케줄 TS_f 는 식 (11)을 이용하여 구한 새로운 프레임 위치 f_s 가 속한 기준 스케줄 TS_0 의 세그먼트 Si의 끝점 F_i+L_i 에서 TS_0 에 수렴하고 있다. 이 때 재생 시작 위치 f_s 로부터 수렴 위치 p 까지 새로운 스케줄 TS_{f-p} 는 대역폭 평활화 조건들을 만족시키기 위해 수렴 위치까지 4~5개 프레임 정도의 짧은 길이를 가지는 세그먼트들이 존재한다.

한편, 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치 f_s 로부터 수렴 위치 p 까지 서버는 재생 지연 없이 그림 2의 $B_{initial}$ 을 클라이언트로 전송하기 위해서는 매우 큰 R_{new} 를 요구할 수 있다. 이 때 전송 스케줄 TS_{f-p} 의 최대 비트율이 TS_0 의 최대 비트율 보다 클 수 있다. 이 경우에는 망에 대한 대역폭 협상시 실패할 확률이 높기 때문에 클라이언트 측에서 연속적인 비디오의 재생이 불가능할 수도 있다. 따라서, 망에 대한 대역폭 요구를 줄이기 위하여 전송 스케줄 TS_{f-p} 의 최대 비트율을 TS_0 의 최대 비트율 이하로 유지하면서 수렴시켜야 한다.

대화형 오퍼레이션 동안의 높은 대역폭 요구를 수용하기 위해 망의 대역폭 일부를 확보해 두는 예비 채널 개념이 [10]에서 제안되었다. 대화형 오퍼레이션 후 새로운 프레임 위치로부터 새로운 전송 스케줄에 따라 재생을 시작하기 위해 예비 채널을 사용할 수 있다. 예비 채널의 대역폭으로 기준 스케줄 TS_0 의 최대 비트율을 사용하는 경우에 새로운 전송 스케줄의 최대 비트율은 예비 채널로 확보된 비트율 보다 작아야 클라이언트는 대역폭 재협상시 실패하지 않고 중단 없는 서비스를 받을 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 클라이언트의 사용자가 허용할 수 있는 지연 범위 내에서 정상적인 재생을 지연시킴으로써 TS_{f-p} 의 최대 비트율을 낮추었다.

그림 8은 클라이언트 버퍼 크기가 2MByte일 때, 비디오 데이터 "term"을 대상으로 대화형 오퍼레이션 후 재생 시작 위치 f_s 가 1200 프레임인 경우에 재생 시작 지연에 따른 새로운 전송 스케줄 TS_{1200} 의 최대 비트율의 변화를 보여 준다. 기준 스케줄 TS_0 의 최대 비트율은 566 bps이며 TS_{f-p} 를 약 0.5초(약 13 프레임) 지연시키면 TS_{f-p} 의 최대 비트율이 TS_0 의 최대 비트율 이하가 됨을 볼 수 있다. 따라서 작은 재생 지연으로 망에 대한 대역폭 요구를 줄일 수 있음을

알 수 있다.

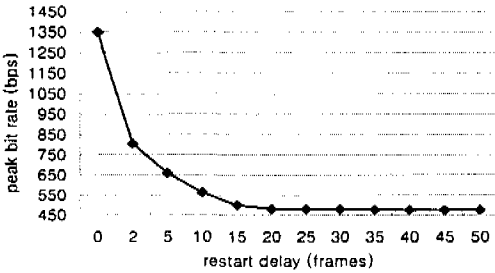


그림 8. 재생 시작 지연에 따른 최대 비트율의 변화
Fig. 8 Variation of peak bit rate for various restart delay

대역폭 평활화 알고리즘들은 평활화 조건을 만족하는 대역폭 변경 위치를 구하기 위해 많은 검색을 수행하므로 알고리즘 복잡도가 매우 높다. 비디오 스트림의 프레임 수가 N 일 때 OSA 알고리즘의 경우에는 $O(N^2)$ ^[3]이고 CBA와 OBA는 $O(N)$ 이며 이진 검색을 사용하는 경우에 $O(N^2 \log N)$ ^[11]으로 줄일 수 있다. 따라서, 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치로부터 잔여 프레임들에 대해 대역폭 평활화를 적용하는 경우에는 최대 $O(N^2)$ 에서 $O(N^2 \log N)$ 로 계산상의 오버헤드가 매우 커지게 된다.

본 논문에서 제안한 방안은 대화형 오퍼레이션 후 선택된 프레임 위치 f 에 대해 인접 I 프레임 위치 f_s 를 구하고 f_s 로부터 기준 스케줄 TS_0 상의 수렴 위치까지의 모든 프레임들에 대해 대역폭 평활화를 적용한다. 따라서, 제안한 방안의 알고리즘 복잡도는 대역폭 평활화 알고리즘 OSA와 CBA, OBA를 적용하는 경우에 식 (15)와 같다. 식 (14)에서 N 은 비디오 스트림의 프레임 수, L 은 GOP 패턴의 길이, $L_{search}(f)$ 는 대역폭 평활화가 적용되는 프레임 수로 재생 시작 위치 f 로부터 구한 인접 I 프레임 위치 f_s 와 수렴 위치사이의 프레임 길이이며 L_{max} 는 $L_{search}(f)$ 의 최대값을 나타낸다. 식 (15)에서 볼 수 있듯이 제안한 전송 스케줄 제작성 방안의 알고리즘 복잡도는 L_{max} 에 의해 결정된다.

그림 9는 클라이언트측 버퍼 크기에 따른 검색 대상 프레임 수 $L_{search}(f)$ 의 최대값 L_{max} 와 평균 L_{avg} 를 보여 준다. 버퍼 크기가 커질수록 대역폭 평활화에 의해 구해지는 세그먼트의 수가 감소하므로 L_{max} 가 커짐을 알 수 있다. 버퍼 크기에 따라 L_{max} 는 OSA의 경우에 전체 프레임 수의 8~23%이며, CBA의 경우에 10~47%이다. 이런 결과는 대역폭 변

경 횡수를 최소화하기 위한 대역폭 평활화 알고리즘인 CBA가 대역폭 변화 변위를 최소화하는 OSA에 비해 세그먼트 수가 매우 적으므로 버퍼 크기가 커질수록 재생 시작 프레임 위치로부터 수렴 위치까지의 L_{max} 가 상대적으로 매우 커지기 때문이다.

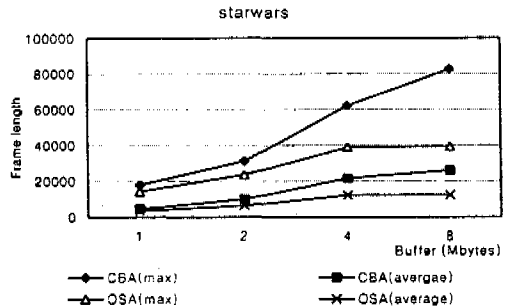


그림 9. 버퍼 크기에 따른 L_{max} 와 L_{avg}
Fig. 9 L_{max} and L_{avg} for different buffer sizes

V. 결론

본 논문에서는 VCR 기능과 같은 사용자의 대화형 오퍼레이션이 종료된 후 새로운 프레임 위치에서 정상적인 비디오 스트림의 재생을 위한 전송 스케줄을 작성하는 방안에 대해 기술하였다. 제안한 전송 스케줄 제작성 방안은 다른 초기 재생 시작 지연을 가지는 전송 스케줄들이 서로 수렴한다는 특성을 이용하여 새로운 재생 시작 프레임 위치로부터 비디오 스트림의 잔여 프레임들을 모두 고려하지 않으면서 수렴 위치까지의 전송 스케줄을 대역폭 평활화를 적용하여 구한다. 한편, 수렴 위치로부터 마지막 프레임 위치까지는 기존 스케줄을 이용한다. 제안한 방안은 수렴 특성을 이용함으로써 전송 스케줄을 구하는 데 사용되는 대역폭 평활화의 계산상의 오버헤드를 대폭 줄일 수 있었으며, 수렴 위치까지의 스케줄 정보를 비디오 데이터와 함께 오프라인으로 미리 계산하여 저장함으로써 대화형 오퍼레이션이 종료된 후에 사용자가 허용할 수 있는 작은 재생 지연으로 비디오 스트림을 정상적으로 재생할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] T.D.C. Little, "Prospect of Interactive VOD", IEEE Multimedia Magazine, pp. 14-23, Fall 1994.

[2] 정제창 역, "그림으로 보는 최신 MPEG", 교보 문고, 1996.

[3] J. D. Salehi, Z. L. Zhang, J. F. Kruse, and D. Towsley, "Supporting stored video: Reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing", Proc. of ACM SIGMETRICS, pp. 222-231, May 1996.

[4] W. C. Feng and S. Sechrest, "Critical Bandwidth Allocation for Delivery of Compressed Video", Computer Communications, Vol. 18, No. 10, pp. 709-717, Oct. 1995.

[5] W. C. Feng, F. Jaharian, S. Sechrest, "Providing VCR functionality in a constant quality video-on-demand transport service", IEEE Multimedia'96, pp. 127-135, June 1996.

[6] Wu-chi Feng, VIDEO-ON-DEMAND SERVICES : EFFICIENT TRANSMISSION AND DECOMPRESSION OF VARIABLE BIT RATE VIDEO, Ph.D. Dissertation, Dept. of Computer Science and Engineering, University of Michigan, April 1996.

[7] Jae-Hong Lee, Sun-Sook Lee, Tae-Kyun Kim, "Bandwidth Smoothing for VBR Video Streams in Video-On-Demand Service", 한국통신학회 논문지, 제23권 제3호, pp. 687-700, 1998년 3월.

[8] Jayanta K. Dey, Subhabrata Sen, James F. Kurose, Don Towsley, "Playback Restart in Interactive Streaming Video Applications", Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Ottawa, Canada, pp. 458-465, June 1997.

[9] Wei Zhao, Taruni Seth, Michelle Kim and Marc Willebeck-LeMair, "Optimal Bandwidth / Delay Tradeoff for Feasible-Region-Based Scalable Multimedia Scheduling", IEEE INFOCOM'98, pp. 1131-1138.

[10] A. Dan, P. Shahabuddin, D. Sitaram, D. Towsley, Channel Allocation under Batching and VCR Control in Movie-On-Demand Servers, IBM Research Report RC19588, Yorktown Heights, NY, 1994.

[11] W. Feng and J. Rexford, Performance Evaluation of Smoothing Algorithms for Transmitting Prerecorded Variable-Bit-Rate Video, Technical Report, OSU-CISRC-3/97-TR18, Ohio State

University, 1997.

[12] O. Rose, "Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems", Proc. of 20th Conference on Local Computer Networks", IEEE, pp. 397-406, Oct. 1995.

[13] M. W. Garrett and A. Fernandez, Variable Bit Rate Video Bandwidth Trace Using MPEG Code, Nov. 1994.

이 재 홍(Jae-Hong Lee)

정회원



1963년 10월 9일생
 1986년 2월 : 충남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1997년 2월 : 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사 과정 수료

1988년 2월~1994년 2월 : 국방과학연구소 연구원
 1994년 2월~1996년 2월 : 한국인식기술 과장
 <관심분야> : 멀티미디어 통신, 무선 ATM

전 병 호(Byeong-Ho Jeon)

정회원



1960년 1월 15일생
 1983년 2월 : 충남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1989년 8월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 : 공주문화대학 산업영상과 조교수
 <관심분야> 멀티미디어, 컴퓨터그래피, 컴퓨터교육

김 태 균(Tae-Kyun Kim)

정회원

충남대학교 컴퓨터공학과 교수
 한국통신학회 논문지 제23권 제3호 참조