대화형 비디오 서비스를 위한 VBR-MPEG 비디오의 효율적인 전송기법

이 승 윤† · 김 용 진†† · 유 황 빈†††

요 약

일반적으로 MPEG과 같이 VBR 트래픽 특성을 지닌 비디오는 프레임간의 심한 편차로 인해 대역폭 활용측면에서 효율적인 전송이 어렵다. 이를 위해 제안된 방법이 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법으로써 상대적으로 적은 대역폭 할당과 선인출을 이용한 방법이다. 하지만 이러한 기존의 방법들은 VCR 기능과 같은 대화형 비디오 서비스에 있어서의 일어날 수 있는 서비스 요구에 대한 효과적인 대역폭 순화 기법 및 전송정책을 제공하고 있지 않다.

본 논문에서는 MPEG과 같은 VBR 트래픽 특성을 갖는 비디오에 대해 대화형 서비스를 제공하기 위한 대역폭 할당 기법을 제안하고 성능을 평가하였다. 이 기법은 기존의 대역폭 순화 기법이 제공하지 못했던 VCR 기능과 같은 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 동시에 대역폭 활용 이득을 극대화시킬 수 있는 방법을 제공한다. 실험을 통해 제안하는 기법은 대화형 비디오 서비스 제공시 증가될 수 있는 트래픽의 양을 현저히 감소시킬 수 있음은 물론 동시에 재생에 대한 연속성도 보장시킬 수 있음을 증명하였다.

Efficient Transmission Technique of VBR-MPEG Video for Interactive Video Service

Seung-Yun Lee† · Yong-Jin Kim†† · Hwan-Bin Ryou†††

ABSTRACT

In general, it is difficult to transmit a VBR video like MPEG efficiently since MPEG frames are construct with various size. To solve this problem, some bandwidth smoothing techniques are proposed which is based on the prefetching video data into the client buffer with low bandwidth allocation. However these techniques do not provide efficient bandwidth smoothing technology and transmission technique for interactive video services like VCR-like functionality.

In this paper, we propose and evaluate a new bandwidth allocation mechanism for interactive video services which has VBR traffic characteristics such a MPEG. This technique provides VCR-like functionality which is not supported on previous techniques and also maximizes the bandwidth utilization when interactive video services are provided. Through our experimental, we prove that the proposed technique dramatically decreases a traffic and guarantee the continuous playback simultaneously.

※ 이 논문은 1999학년도 교내 학술연구비에 의하여 이루어졌음
† 준 회 원 : 한국전자통신연구원 표준연구센터 선임연구원
†† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 표준연구센터 선행표준연구팀장
††† 종신회원 : 광운대학교 컴퓨터과학과 교수
논문접수 : 1999년 10월 5일, 심사완료 : 1999년 12월 15일

1. 서 론

최근 멀티미디어 기술 및 네트워크 기술의 발달은 다양한 응용 서비스를 가능하게 하였으며, 그 중에서도 비디오를 중심으로 하는 응용 서비스에 대한 요구는 더욱 많아질 전망이다. 그 중에서도 주문형 비디오와 같은 대화형 비디오 서비스는 네트워크를 통한 비디오 서비스로써 향 후 가장 각광받을 수 있는 서비스 중 하나이다. 하지만 비디오 정보는 다른 멀티미디어 정보에 비해 상대적으로 많은 정보량을 지니기 때문에 네트워크 대역폭 점유율이 높고 결과적으로 전송에 있어 다른 서비스에 비해 많은 부하가 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위해 비디오 정보를 압축하는 방법이 제안되었는데 대표적인 것이 MPEG 비디오이다[1]. 이 압축 방식은 가변 비트율(VBR) 압축 방식을 사용하기 때문에 비디오의 내용에 따라 압축율이 달라지고 프레임간 압축 기법을 사용함에 따라 압축 효율이 매우 높은 특징이 있다. 하지만 이렇게 프레임간 심한 편차를 갖는 VBR 비디오는 효율적인 전송정책을 필요로 하는데, 효과적인 대역폭 소모와 함께 주어진 서비스 품질(QoS)을 보장시킬 수 있어야 한다. 비디오에 대한 대역폭 할당 정책은 일반적으로 손실 없는 전송을 위한 방법과 손실을 허용하는 전송 방법으로 나눌 수 있는데, 전자의 경우 주어진 비디오가 지닌 최대 대역폭을 할당함으로써 가능하며, 손실을 허용하는 경우는 평균 대역폭을 할당하는 방법이 사용된다. 하지만 두 방법은 각각 대역폭 활용 이득이 낮다는 단점과 연속성이 보장되지 않는 재생이 된다는 단점이 존재한다. 비디오 전송에 있어 할당되는 대역폭의 최적화는 다수 스트림을 서비스하는데 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 왜냐하면, 효율적인 대역폭 할당은 네트워크 시스템에 대한 부하를 줄일 수 있을 뿐 만 아니라 보다 많은 사용자를 서비스 할 수 있기 때문이다. 특히, MPEG 비디오와 같이 VBR 특성을 지닌 비디오에 대한 대역폭 할당 정책은 매우 어렵다고 할 수 있는데, 그 이유는 VBR 비디오는 부호화 시 매 프레임마다 가변적인 크기를 갖기 때문이다. 따라서 프레임 시퀀스가 갖는 크기의 편차가 심하다고 할 수 있는데, 결국 이러한 비디오에 대한 전송 방법은 CBR 채널을 통한 첨두치(peak-rate) 대역폭을 할당 방법과 VBR 채널을 통한 통계적 다중화 방법을 사용할 수밖에 없다. 하지만 전자의 경우는 대역폭 활용 이득이 매우 낮게되며, 후자의 경우는 보장된 재생을 할 수 없다는 단점이 존재한다.

이를 해결하기 위해 제안된 방법이 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법이다. 대역폭 순화 기법은 전송될 VBR 비디오에 대해 일정 또는 가변 구간 단위로 일정한 비트율(CBR)로 전송하도록 하는 것이다. Grossglauser는 VBR 채널로 전송하는 것에 비해 CBR 전송 방법이 주어진 네트워크 로드에 대해 큐잉 지연이 적다는 것을 보였다[14]. 특히, ATM 네트워크 상에서의 MPEG과 같은 VBR 비디오 전송은 ATM 스위치의 통계적 다중화 특성상 셀 손실이 발생되기 때문에 이에 대한 연구가 진행되고 있다[2, 3, 12]. 따라서, MPEG과 같은 VBR 비디오의 전송에 있어 클라이언트 재생의 연속성을 보장시킬 수 있는 무손실 전송(lossless transmission) 기반의 전송기법이 요구된다. 이와 같은 해결하기 위해 제안된 방법이 바로 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법이다. 보통 MPEG 비디오의 압축 특성상 평균 대역폭 에 대한 첨두치(peak-rate) 대역폭의 비율이 보통 25%이하로 발생되기 때문에 대역폭 활용 이득율이 매우 낮다[10]. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 클라이언트 버퍼로의 선인출(prefetch) 방법에 기반한 전송을 시도하는 것이 대역폭 순화 기법이다. Lam은 최초로 MPEG 비디오에 대해 손실없는 순화 알고리즘을 제안하였다[8]. Salehi는 대역폭 순화시 발생되는 변이를 최소화하기 위한 MVBA 기법을 제안하였다[6], Chang과 Rosario는 VBR 비디오의 CBR 전송기법에 대해 연구하였는데, Chang의 경우 기존의 MVBA 기법을 D-BIND 모델에 적용한 변형된 MVBA 기법을 제안하였다[10]. Feng은 대역폭 순화시 발생될 수 있는 대역폭 변경을 최소화하기 위한 MCBA 기법을 제안하였고[9, 5], 이와 유사한 방법으로써 Lauderdale과 Zhang의 연구가 있다[11, 7]. 하지만 기존의 이러한 대역폭 순화 기법은 비디오 서비스에 있어 단순한 재생만을 고려하였거나[8, 6, 10, 9, 5, 11, 7], 재생이외의 대화형 서비스를 고려하였더라도 클라이언트 버퍼를 이용한 제한된 기능만을 서비스함을 가정하였다[9]. 따라서, 완전한 VCR 기능을 제공할 수 있는 대역폭 할당 기법이 필요로 된다.

본 논문에서는 대역폭 순화 정책에 의한 비디오 서비스 모델을 제시하고, VCR 기능과 같은 대화형 비디오 서비스 제공을 위한 대역폭 할당 기법을 제안한다. 이를 위하여 MPEG과 같은 VBR 비디오의 프레임 구

조 특성을 이용한 동적 프레임 선택 기법(DFSS)을 제안하고 이에 대한 성능을 분석한다. 제안하는 기법은 특히 VCR 기능과 같은 대화형 서비스 제공시 발생될 수 있는 대역폭 증가를 최소화시킬 수 있다. 또한, 이 기법은 VCR 기능시 연속성과 트래픽 발생량을 조절할 수 있는 유연성을 제공한다.

본 논문의 구성은 2장에서 MPEG 비디오에 대한 특성과 구조를 분석하고 제안하는 기법을 위한 모델을 정의하고, 3장에서는 대역폭 순화 기법을 적용하기 위한 VBR 비디오 전송을 위한 시스템 모델을 설계하고 대화형 비디오 서비스에 대한 기능과 요구사항을 설명한다. 4장에서는 대화형 비디오 서비스를 위한 전송정책으로써 동적 프레임 선택정책에 기반한 대역폭 할당 기법에 대해 설명하며, 5장에서는 실험을 통해 이에 대한 성능 분석을 한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. VBR 비디오

가변 비트율(VBR) 비디오는 항등 비트율(CBR) 비디오에 비해 일정한 품질의 비디오를 유지하면서 동시에 비트율이 상대적으로 낮기 때문에, 최근의 대부분의 디지털 비디오 포맷에서 사용되고 있다. 하지만 VBR 비디오의 부호화 특성상 압축이 가변적으로 수행되기 때문에 프레임간의 변이가 커질 수 있다. 이러한 프레임간의 변이는 전송시 트래픽 폭발성(burstiness)으로 인해 패킷 손실 또는 셀 손실의 결과를 초래할 수 있다. 한편 MPEG 비디오의 경우 프레임 구조상 일정한 규칙성을 가지고 있는데[1], 본 논문에서는 이러한 MPEG 비디오의 프레임 시퀀스 상에 존재하는 규칙성에 기반한 전송 모델을 제안한다. 본 장에서는 먼저 MPEG 비디오에 대한 구조를 분석하고 그 규칙성에 대한 모델을 정의한다.

2.1 MPEG 비디오 시퀀스 모델

MPEG 비디오의 시퀀스는 앞서 언급한 바와 같이 I, B, P 프레임의 연속적인 시퀀스로 나타나게 되는데 그 예는 <표 1>과 같다. MPEG 비디오는 전송 순서와 재생 순서가 다른데, B 프레임의 경우 미리 전송되어 오더라도 P 프레임이 없이는 재생이 될 수 없기 때문이다. 따라서, P 프레임을 먼저 전송하고 이어서 B 프레임들을 전송하는 방법을 취한다. 이는 B 프레임 재생을 위해서는 반드시 P 프레임을 동반한 재생이 이루어져야 한다는 것을 의미한다.

〈표 1〉 MPEG 비디오 재생 및 전송 시퀀스

재생순서	I B B P B B P B B P B B I B B P . . . .
전송순서	I P B B P B B P B B I B B P B B . . . .

(가정 1) MPEG 비디오 시퀀스 내의 GOP는 반드시 I 프레임을 포함하며, 이들 GOP들은 모두 동일한 GOP 패턴을 갖는다.

먼저, 비디오 시퀀스 V는 연속된 GOP 집합으로 볼 수 있으며, 다음 식으로 표기한다.

$$V=\{S_1, S_2, \ldots, S_k\}\ ,\ k=\text{전체 GOP 개수}$$

이 때 각 GOP, S_i 들은 다시 프레임의 연속으로 볼 수 있으며, 다음 식으로 표기한다.

$$S=\{f_1, f_2, \ldots, f_G\}\ ,\ G=\text{GOP의 크기(프레임개수)}$$

그리고, 비디오 시퀀스 V에서의 전체 프레임 개수 ($\hat{V}$)는 다음과 같다.

$$\hat{V}=k*G \qquad (1)$$

또한, f_i는 개별적인 프레임 하나의 크기를 의미하며, MPEG 비디오의 경우 I, B, P 프레임들의 조합으로 구성되어진다. 따라서, 전체 비디오에 대한 크기는 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$V=\sum_{i=1}^{k} S_i=\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{G} f_{(i,j)} \text{ or } \sum_{i=1}^{k*G} f_i$$

그리고 비디오 내에서 프레임의 평균($\overline{V}$)과 최대 (f_{max}), 최소(f_{min})는 다음과 같다.

$$\overline{V}=\left[\frac{\sum_{i=1}^{k*G} f_i}{k*G}\right]=\left[\frac{V}{k*G}\right]$$

$$f_{max}=\max\{f_1, f_1, \ldots, f_{k*G}\}$$

$$f_{min}=\min\{f_1, f_1, \ldots, f_{k*G}\}$$

또한, 하나의 GOP 내에서 그 패턴에 의한 크기를 결정하기 위해서 I 프레임과 P 프레임의 거리 또는 P 프레임과 P 프레임의 거리, ω를 정의한다. 예를 들어, IBBPBBP...의 시퀀스를 갖는 비디오에서의 ω 값은 3이 된다. 본 논문에서는 ω를 키 프레임 거리(KFL : key frame length)라고 정의한다. 따라서 하나의 GOP 내에서 프레임의 개수(G)에 대해 다음 식(2)와 같은 관계가 성립한다.

$$G = n\omega, \quad (n\text{은 정수}) \tag{2}$$

따라서, ω와 G가 주어지면, GOP 패턴을 결정할 수 있다. 즉, 가정 1)에 의해서 매 GOP 내에서의 I 프레임의 개수가 1일 때 나머지 B 프레임 개수(N^B)와 P 프레임 개수(N^P)는 다음 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{cases} N^I = 1 \\ N^P = \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \\ N^B = G - \left\{ 1 + \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \right\} \end{cases} \tag{3}$$

(단, $G = N^I + N^B + N^P$)

식 (3)에 의해 각 프레임의 총 개수와 평균은 다음 식(4)(5)와 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{cases} N^I_{total} = k \\ N^P_{total} = k * N^P = k * \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \\ N^B_{total} = k * N^B = k * \left[G - \left\{ 1 + \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \right\} \right] \end{cases} \tag{4}$$

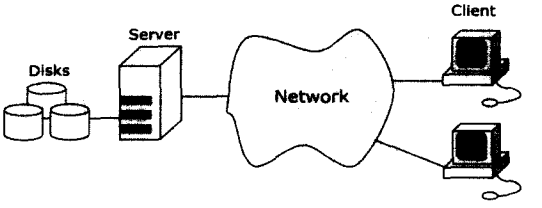
$$\begin{cases} f^I_{avg} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N^I_{total}} f^I_i}{N^I_{total}} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k} f^I_i}{k} \right] \\ f^B_{avg} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N^B_{total}} f^B_i}{N^B_{total}} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{k * \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor} f^B_i}{k * \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor} \right] \\ f^P_{avg} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N^P_{total}} f^P_i}{N^P_{total}} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{G - \left\{ 1 + \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \right\}} f^P_i}{k * \left[G - \left\{ 1 + \lfloor \frac{G-1}{\omega} \rfloor \right\} \right]} \right] \end{cases} \tag{5}$$

따라서 전체 프레임 수에 대한 조건으로써 다음 식(6)을 만족하게 되는데, 이는 식(3)(4)로부터 증명될 수 있다.

$$N^I_{total} + N^B_{total} + N^P_{total} = k * G \tag{6}$$

3. VBR 비디오 전송 시스템 모델

본 논문에서는 가정하는 비디오 전송 시스템은 (그림 1)과 같다. 기본적으로 비디오 서버, 클라이언트, 네트워크로 구성되는데, 서버는 서비스되는 비디오 정보와 각 비디오들에 대한 전송 계획을 저장하고 있으며, 고속의 디스크 장치를 통해 동시에 여러 클라이언트에게 비디오 스트림을 전송한다. 이때 서버는 미리 수립된 전송 계획에 의해 선인출(prefetch) 방법으로 미리 비디오 정보를 클라이언트에게 전송한다. 클라이언트의 경우 선인출 정보를 저장할 수 있는 적절한 버퍼를 가지며, 원래의 비디오 재생율에 따라 비디오를 재생한다. 네트워크의 경우 전송율과 지연(delay)이 보장된 네트워크임을 가정한다.

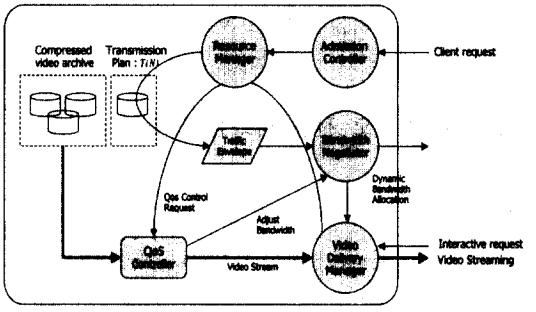


(그림 1) 비디오 서비스 시스템 구조

3.1 대역폭 관리 시스템

서버는 기본적으로 각각의 비디오에 대해 대역폭 순화 기법에 의한 전송 계획을 가지고 있으며, 비디오 스트림을 제공시 대역폭 순화 기반의 전송 계획에 의해 동적인 대역폭 협상을 시도한다. 만일 서비스 중에 클라이언트로부터 VCR 기능과 같은 서비스 요구가 발생되면 서버는 미리 계산된 전송계획(5장에서 자세히 설명됨)을 이용하여 트래픽 증가를 최소화시키는 대역폭 할당(재 협상)을 시도한 후 서비스를 제공하게 된다. 이 방법은 빠른 재생과 같은 VCR 기능의 요구시 증가되는 대역폭으로 인한 클라이언트 버퍼 초과 및 기근 현상을 방지할 수 있도록 한다.

(그림 4)는 제안하는 대역폭 관리 모델과 그 동작 과정을 보여준다. 먼저 클라이언트의 접속 요구가 발생되면, 등록제어 관리자는 자원관리자를 통해 접속여



(그림 2) 대역폭 순화 기반의 대역폭 관리 모델

부를 결정한다. 이 때 자원관리자는 현재 서비스되고 있는 스트림들의 대역폭 점유율을 근거로 수락 및 거절을 결정한다. 만일 스트림의 접속이 허가되면, 해당 클라이언트가 선택한 비디오 정보에 대한 전송계획(traffic envelope)에 따라 대역폭 협상 관리자에 의해 대역폭을 할당한 후, 비디오 전송 관리자에 의해 비디오 스트림이 전송되어 진다. 만일 클라이언트로부터 VCR 기능과 같은 대화형 서비스 요구가 발생되면 QoS 제어기는 이에 대한 트래픽을 판단하고 대역폭 협상 관리자에게 알리고 클라이언트가 요구한 서비스를 제공하게 된다.

3.2 대화형 액세스 서비스

비디오 서비스는 그 특성에 따라 사용자 측면의 액세스 패턴이 달라지게 되는데, 일반적인 방송형태(broadcasting video)의 비디오 서비스는 재생 위주의 서비스만을 제공하는 반면에 주문형 비디오(VOD : Video-On-Demand)와 같은 서비스에서는 사용자에 의한 액세스 패턴이 매우 다양하게 요구된다. 다시 말해서, 사용자는 자신이 원하는 내용을 자유롭게 시청하기 위해 일시정지, 빠른 재생, 되감기 그리고 랜덤 액세스 등을 요구할 수 있다. 이러한 사용자 관점의 요구를 본 논문에서는 대화형 액세스 패턴이라고 정의하며, <표 2>와 같이 구분할 수 있다.

〈표 2〉 대화형 비디오 서비스 기능

대화형 액세스 패턴	기 능	시스템 요구사항
빠른 재생 (Fast-Forward)	빠른 속도로 비디오를 재생하면서 내용 검색	전송율 증가에 따른 대역폭 재협상 기능 필요
되감기 (Fast-Rewind)	빠른 재생의 반대 방향 검색	전송율 증가에 따른 대역폭 재협상 기능 필요
일시정지 (Pause)	짧은 시간동안의 재생 중지	세션 유지
정지 (Stop)	완전한 재생 중지	세션 종료
랜덤 액세스 (Random Access)	원하는 위치(시간)으로 직접 이동하여 검색	전송 패턴 변화에 의한 대역폭 재협상 필요

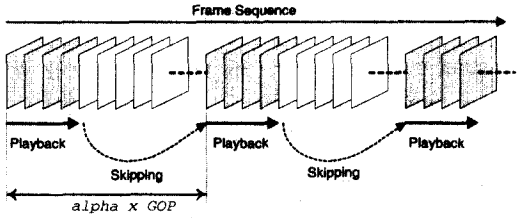
4 동적 프레임 선택 기법 (DFSS)

일반적으로 MPEG 비디오 상에서 VCR 기능을 제공하기 위해서 사용되는 방법은 클라이언트 주도적인 방법과 서버 주도적인 방법이 있다. 클라이언트 주도적인 방법으로는 N배 빠른 재생을 가정할 때, 서버는 클라이언트에게 N배의 속도로 클라이언트에게 프레임을 전송시키고 클라이언트는 N배 빠른 재생율로 재생하는 방법이다. 이 방법은 재생의 연속성이 뛰어난 반면 네트워크와 클라이언트 시스템에 매우 많은 부하를 주는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 압축된 비디오의 I 프레임만을 전송하는 방법이 있다. 이 방법은 MPEG 비디오와 같이 가변 압축 방법을 사용할 때 생성되는 프레임 패턴 특징을 이용하는 것인데, 독립적으로 재생 가능하도록 압축된 프레임인 I 프레임(Intra-frame)이 일정간격(GOP)을 주기로 발생된다는 점을 이용하는 것이다. 하지만 이 방법은 구현이 쉽고 재생의 연속성이 뛰어난 반면 다른 프레임(B, P 프레임)들에 비해 데이터 량이 상대적으로 크기 때문에 실제 서비스시 네트워크 자원에 대한 많은 요구가 발생된다. 따라서, 본 논문에서는 클라이언트의 프레임 재생율을 그대로 유지시키면서 빠른 재생을 구현하는 방법으로써 동적인 프레임 선택 전송 기법을 이용한다. 이 방법은 I 프레임에 연속되는 나머지 프레임들도 활용함으로써 빠른 재생과 같이 많은 대역폭을 요구하는 상황에서 최적의 대역폭 활용율을 갖도록 한다.

4.1 기본 모델

트래픽 발생을 최적화 시킬 수 있는 VCR 기능 제공을 위해 본 논문에서는 선택적 GOP 정책과 선택적 프레임 정책을 사용한다. 즉, 빠른 재생과 같은 서비스를 위해 I 프레임 만의 전송 대신, (그림 3)과 같이 α개의 일정 간격으로 GOP를 건너 띄면서 선택된 GOP 내에서 β개의 프레임을 선택적으로 전송한다. 이를 본 논문에서는 동적 프레임 선택 기법(dynamic frame selection scheme : DFSS)이라고 하고 DFSS(α,β)로

표기한다. 이 방법은 적절한 매개변수를 선택함으로써 프레임의 연속성을 유지시키면서 동시에 발생되는 트래픽의 양을 현저하게 줄일 수 있다.



(그림 3) 동적 프레임 선택 정책(DFSS)의 기본 원리

가정 1에 의해서 MPEG 프레임 선택 매개변수 DFSS(α,β)가 주어지면, 이 때 발생되는 트래픽 양은 다음과 같이 구할 수 있다.

먼저, 하나의 GOP 내에서 선택되어지는 프레임의 개수가 β이면, β개의 프레임이 구성하는 프레임 패턴은 키 프레임간의 거리인 ω에 의해 결정되어진다. (단, $\beta \le G$, , G는 GOP 크기) 그리고, I 프레임의 경우는 반드시 하나가 선택되어지는 반면, B 프레임과 P 프레임은 유동적이다. 왜냐하면 I 프레임과 P 프레임의 거리 변수인 ω에 따라 P 프레임은 하나 이상 선택되어질 수 있기 때문이다. 이 때 선택되어지는 각 I, B, P 프레임의 개수는 식(3)에 의해서 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{cases} N^I = 1 \\ N^P = \begin{cases} \lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor & , \ \omega < \beta \\ 0 & , \ \omega \ge \beta \end{cases} \\ N^B = \beta - (1+N^P) = \begin{cases} \beta - (1+\lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor) & , \ \omega < \beta \\ \beta - 1 & , \ \omega \ge \beta \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

결과적으로 선택되는 프레임의 개수 β는 다음과 같이 구성된다.

$$\beta = 1 + N^B + N^P \quad (8)$$

그리고 앞서 구해진 선택되어진 프레임의 개수에 의해 실제 요구되는 트래픽을 구한다. 먼저 하나의 GOP 내에서 발생되는 단위 트래픽을 결정하기 위해 각 프레임에 대한 평균 대역폭을 이용한다. 즉, I, B, P 프레임들에 대한 평균 트래픽 정보는 서비스 전에 미리 알 수 있기 때문에 서비스 중에 온라인 상에서 실시간으로 계산해야하는 부하를 없앨 수 있다. 한편, DFSS (α,β)가 주어졌을 때, 빠른 재생을 위한 트래픽 양은 선택된 프레임 수에 의존하게되는데, 각 프레임 별 트래픽 소모량($\phi^{I,B,P}$)은 다음 식(9)와 같다.

$$\begin{cases} \phi^I = f^I_{avg} * \frac{r}{\beta} \\ \phi^P = \begin{cases} f^P_{avg} * \lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor * \frac{r}{\beta} & , \ \omega < \beta \\ 0 & , \ \omega \ge \beta \end{cases} \\ \phi^B = \begin{cases} f^B_{avg} * \left[G - \left\{ 1 + \lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor \right\} \right] * \frac{r}{\beta} & , \ \omega < \beta \\ \beta - 1 & , \ \omega \ge \beta \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

따라서, 동적 프레임 선택 기법에 의한 단위 트래픽의 양은 다음 식(10)과 같다. 다시 말해서 이 값은 VCR 기능 제공시 요구하는 대역폭의 크기를 의미한다.

$$\Psi_{VCR} = \{\phi^I + \phi^B + \phi^P\} * \frac{r}{\beta} \ , \ (\text{단, } r\text{는 재생 프레임율}) \quad (10)$$

다음 식 (11)은 앞의 결과를 통해 얻어진 동적 프레임 선택에 의한 전송 트래픽의 양을 나타낸다.

$$\Psi_{VCR} = \begin{cases} \left[f^I_{avg} + \left\{ \beta - \left(1 + \lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor \right) \right\} * f^B_{avg} \right. \\ \left. + \left\{ \lfloor \frac{\beta-1}{\omega} \rfloor f^P_{avg} \right\} \right] * \frac{r}{\beta} & , \ \omega < \beta \\ [f^I_{avg} + (\beta-1) * f^B_{avg}] * \frac{r}{\beta} & , \ \omega \ge \beta \end{cases} \quad (11)$$

이렇게 구해진 전송율은 각 키 프레임들의 평균값으로 계산되었기 때문에 정확한 값은 아니지만 버퍼를 통한 선인출 기반의 전송 즉, 대역폭 순화 기법을 통해 적용되기 때문에 버퍼 초과나 기근 현상은 일어나지 않도록 한다.

4.2 DFSS 기반 대역폭 할당 정책

동적 프레임 선택 전송에 기반한 대역폭 할당은 시스템 관점에서 어떠한 방식으로 DFSS를 구현하는가에 따라 달라질 수 있다. 즉, DFSS에 의해 미리 전송되어질 스트림을 별도의 저장장치에 두는 방법(stored DFSS stream)과 서비스 요구시 실시간으로 프레임을 선택하여 전송하는 방법(real-time DFSS stream)으로 나눌 수 있다. 저장 DFSS 스트림 정책은 정확한 전송 계획을 수립할 수 있는 반면 추가적인 저장공간이 필요할 뿐만 아니라 서비스 품질제공에 대한 유연성이

부족하다. 따라서, 본 논문에서는 실시간 DFSS 전송 정책을 중심으로 기술한다.

1) 저장 DFSS 스트림 정책 (stored DFSS stream)

미리 결정된 DFSS 정책에 따라 VCR 기능 제공을 위한 스트림을 만들어 두기 때문에 저장비디오의 특성을 이용하여 실측 트래픽 정보를 이용할 수 있다. 때문에, 비교적 정확한 전송 계획을 유도할 수 있는 장점이 있다. 반면, 별도의 데이터로 저장되기 때문에 추가적인 저장 비용이 요구된다는 단점이 존재한다. 이 방법에서는 전송 트래픽을 미리 구할 수 있기 때문에 기존의 대역폭 순화 방법을 적용하여 쉽게 전송 계획을 구할 수 있다. 즉, DFSS 정책으로부터 결정된 별도의 비디오 정보로부터 대역폭 순화를 시도함으로써 대화형 서비스시 요구되는 전송정책을 얻을 수 있다. 또한, 전송되어질 비디오의 품질이 미리 결정되어있기 때문에 서비스에 대한 유연성이 부족한 단점이 있다.

2) 실시간 DFSS 스트림 정책
(real-time DFSS stream)

저장 DFSS 스트림 정책과 반대로 실제 전송되는 트래픽의 내용을 미리 알 수 없음을 가정한다. 이 방법은 별도의 스트림 저장공간을 필요로 하지 않게 되는 장점을 갖는 반면 전송 트래픽을 정확히 알 수 없기 때문에 대역폭 할당에 상대적으로 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 실제 생성되는 트래픽을 정확히 알 수 없기 때문에 식(10)에 의해 구해진 DFSS 대역폭 Ψ_{VCR}는 그대로 유지하면서 적절한 버퍼와 초기지연을 고려한 대역폭 할당 방법을 이용한다. 즉, Ψ_{VCR}를 이용한 것과 같은 방법으로 DFSS 전송시 최대, 최소 대역폭을 구하여 전송 상한과 하한으로 정한 다음 이를 위한 적절한 버퍼 크기를 구함으로써 보장된 전송 계획을 수립할 수 있다.

VCR 기능 제공을 위한 대역폭 할당은 서비스 중에 발생되기 때문에 할당되는 대역폭의 계산 부하(computation overhead)를 최소화하여야 한다. 앞서 설명한 동적 프레임 선택 기법은 이를 위하여 각 키 프레임들의 평균 대역폭을 사용하여 예상되는 트래픽의 양을 계산한다. 따라서, 빠른 재생과 같은 기능을 제공하기 위해 계산되는 트래픽의 양은 바로 순간 전송량을 의미하며 상수 값으로 간주할 수 있다. 이를 본 논문에서는 다음과 같이 표기한다.

$$\Psi(t) = \Psi_{VCR} \cdot t \tag{12}$$

즉, 시간 t 에서 빠른 재생 요구시 할당되는 대역폭은 Ψ_{VCR}으로 일정함을 가정한다. DFSS에 의해 선택된 실제 프레임 전송과 계산된 VCR 기능 제공을 위한 계산된 대역폭의 크기 Ψ_{VCR}는 전체 스트림에선는 평균적으로 근사화될 수는 있어도 완전하게 일치할 수 없는데, 그 이유는 Ψ_{VCR}의 산출 근거가 각 프레임의 평균 대역폭을 이용하여 예측된 결과이기 때문이다. 따라서 이것은 실제 발생되는 순간 요구 대역폭이 클 경우 오차를 발생시킬 수 있다. 하지만 이것은 버퍼에 의한 선인출 방법에 의해 대역폭 순화를 유도할 수 있다.

4.3 DFSS 기반 대역폭 순화 기법

빠른 재생과 같은 VCR 기능 요구는 정상 재생 중에 발생되기 때문에 빠른 재생을 위한 순간적인 전송율 변경을 시도해야 한다. 이때, 식(12)에서 구해진 빠른 재생을 위한 대역폭 함수, $\Psi(t)$를 이용하여 대역폭 할당을 시도하도록 한다. 빠른 재생을 위한 적절한 대역폭을 할당하기 위해 먼저 빠른 재생을 위한 대역폭의 버퍼 넘침 곡선 함수와 고갈 곡선 함수를 구한다.

$$O_{FF}(t) = T_{DFSS}(t) + B$$
$$U_{FF}(t) = T_{DFSS}(t)$$

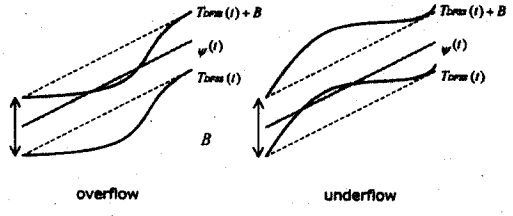
빠른 재생시 얻어지는 고갈 곡선 함수는 동적 프레임 선택 정책(DFSS)에 의한 전송 대역폭($T_{DFSS}(t)$)으로 얻을 수 있으며, 넘침 곡선 함수는 버퍼만큼의 위상을 더함으로써 얻을 수 있다. 이 때, 실제 전송 함수 $\Psi(t)$는 다음의 조건을 만족하는 범위 내에서 결정되어야 한다.

$$O_{FF}(t) \le \Psi(t) \le U_{FF}(t)$$

이 때, $\Psi(t)$는 이미 Ψ_{VCR}에 의해서 이미 결정되는데, Ψ_{VCR}는 각 프레임의 평균값을 통해 얻어진 대역폭이기 때문에 다소의 오차가 발생될 수 있다. 하지만 클라이언트 버퍼 B를 통한 선인출을 통해 연속적인 재생을 보장할 수 있게 된다.

$$O_{FF}(t) \le \Psi(t) \le U_{FF}(t)$$
$$T_{DFSS}(t) + B \le \Psi(t) \le T_{DFSS}(t) \quad (13)$$

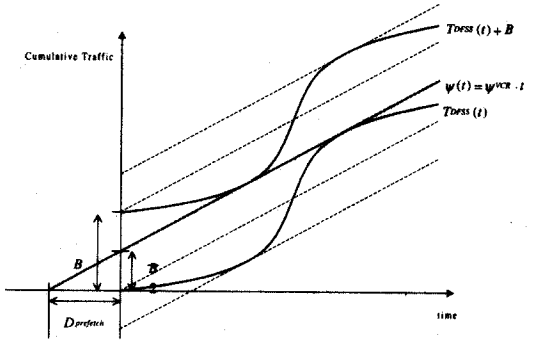
실시간 DFSS 정책에서의 $T_{DFSS}(t)$는 미리 저장된 프레임을 전송하는 것이 아니기 때문에 정확한 트래픽의 예측이 어렵다. 즉 (그림 4)에서 보는 바와 같이 결정된 대역폭 $\Psi(t)$에 대해 실제 전송 함수인 $T_{DFSS}(t)$가 버퍼 넘침 또는 고갈 현상을 보일 수 있게된다.



(그림 4) 버퍼 넘침과 고갈 현상

따라서, 이에 대한 보정이 필요로 되는데, 이는 버퍼 크기의 조절에 의해 해결될 수 있다. 즉, 고정된 대역폭에 대해서 초기 선인출을 고려한 버퍼의 조절(상향 조절)은 할당된 대역폭이 실제 전송에 의한 버퍼 넘침 및 고갈을 방지할 수 있다.

(그림 5)는 실시간 DFSS 전송을 위한 대역폭 할당 모델이다. 이 모델에서는 구해진 전송 대역폭에 대해 버퍼와 선인출 지연을 고려를 기본으로 한다.



(그림 5) 실시간 DFSS 전송 대역폭 할당

먼저, DFSS 전송에 대한 최대, 최소 대역폭($\Psi_{VCR}^{\max}$, $\Psi_{VCR}^{\min}$)은 식(11)로부터 다음 식(14)(15)와 같이 구할 수 있다.

$$\Psi_{VCR}^{\max} = \begin{cases} \left[f_{\max}^{I} + \left\{ \beta - \left(1 + \lfloor \frac{\beta - 1}{\omega} \rfloor \right) \right\} * f_{\max}^{B} \right. \\ \left. + \left\{ \lfloor \frac{\beta - 1}{\omega} \rfloor f_{\max}^{P} \right\} \right] * \frac{\gamma}{\beta}, & \omega < \beta \\ \left[f_{\max}^{I} + (\beta - 1) * f_{\max}^{B} \right] * \frac{\gamma}{\beta}, & \omega \ge \beta \end{cases} \quad (14)$$

$$\Psi_{VCR}^{\min} = \begin{cases} \left[f_{\min}^{I} + \left\{ \beta - \left(1 + \lfloor \frac{\beta - 1}{\omega} \rfloor \right) \right\} * f_{\min}^{B} \right. \\ \left. + \left\{ \lfloor \frac{\beta - 1}{\omega} \rfloor f_{\min}^{P} \right\} \right] * \frac{\gamma}{\beta}, & \omega < \beta \\ \left[f_{\min}^{I} + (\beta - 1) * f_{\min}^{B} \right] * \frac{\gamma}{\beta}, & \omega \ge \beta \end{cases} \quad (15)$$

$\Psi_{VCR}^{\max}$과 $\Psi_{VCR}^{\min}$는 DFSS 전송 함수 $T_{DFSS}(t)$에 대한 최대, 최소 값의 예측 값이다. 따라서, 보장된 전송을 위해서는 구해진 전송 함수 $\Psi(t)$는 다음 두 조건을 만족해야 만 한다.

$$B + \Psi_{VCR}^{\min} \ge \Psi(t) \quad (16)$$

$$\Psi(t) \ge \Psi_{VCR}^{\max} \quad (17)$$

결국 식(16)(17)으로부터 전송 함수 $\Psi(t)$의 보장된 전송 조건을 다음 식(18)과 같이 구할 수 있다.

$$B + \Psi_{VCR}^{\min} \ge \Psi(t) \ge \Psi_{VCR}^{\max}, \ (B\text{는 클라이언트 버퍼}) \quad (18)$$

따라서, 식 (18)로 부터 우리는 최소 버퍼조건을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$B^{\min} \ge \Psi_{VCR}^{\max} - \Psi_{VCR}^{\min} \quad (19)$$

이것은 $T_{DFSS}(t)$에 의해 전송될 경우 버퍼를 이용한 선인출시 요구되는 최소의 버퍼 크기이다. 이와 함께 고려되어야 할 것은 버퍼에 의한 선인출로 발생되는 전송에 대한 초기 지연이다. 이러한 선인출에 의한 초기 지연시간($D_{VCR}^{prefetch}$)은 다음 식(20)과 같이 구할 수 있다.

$$D_{VCR}^{prefetch} = \left| \frac{\Psi_{VCR}^{\min} - \Psi_{VCR}^{\max}}{2 * \Psi_{VCR}} \right| = \left| \frac{B}{2 * \Psi_{VCR}} \right| \quad (20)$$

식(20)은 선인출의 양이 버퍼 크기의 절반인 경우를 전제로 하는 그 이유는 VCR 기능 중에 있어서 서비스 도중에 대역폭 변경은 일어나지 않는 다는 것을 가정하며, 따라서 전송의 상한과 하한 함수의 기울기(대역

폭)는 모두 같기 때문이다.

이러한 전송 계획은 선택적 프레임 전송 정책에 의한 각 키 프레임들의 평균값으로부터 유도된 것이기 때문에 일정한 전송율을 가지며 실제 서비스시 순간 요구 대역폭의 재 계산과 이에 따르는 대역폭 재협상 등의 작업을 불필요하게 한다는 장점을 지닌다.

4.4 대역폭 협상에 의한 지연

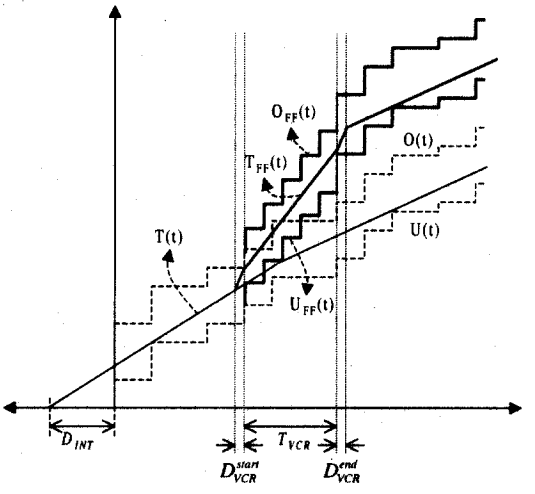
본 절에서는 정상재생에서 빠른재생으로 전환시의 협상과 반대로 빠른재생에서 정상재생으로의 전환시 요구되는 대역폭 변화시 발생되는 지연에 대해서 고찰한다.

(그림 6)은 동적 프레임 전송 기법에 의한 대역폭 할당 모델을 보여준다. 기본적으로 정상 재생 상태에서의 전송 계획에 의한 대역폭은 $T(t)$이고, 빠른 재생 요구시 이 대역폭은 식(10)에서 계산된 Ψ_{VCR}에 의해 $T_{FF}(t)$로 할당된다. 또한, 정상 재생 모드에서 빠른 재생 모드로 변경할 때 약간의 지연이 발생되는데, 빠른 재생의 시작과 종료시에 해당된다. 먼저 빠른 재생의 시작 시점에 있어 잔류하는 버퍼의 소모와 빠른 재생을 위해 선인출되는 시간이 지연(D_{VCR}^{start})으로 발생된다. D_{VCR}^{start} 시간은 빠른 재생을 위한 선인출이 가능한 최소 시간만큼 되어야 한다. 한편, 빠른 재생이 끝나는 시점에서는 다시 원래의 전송 정책으로 서비스하기 위한 지연(D_{VCR}^{end})이 요구되는데, 이는 원래의 전송 정책으로 대역폭을 할당하기 위해서이다. 이때, D_{VCR}^{end} 시간의 결정은 시간 t에서 빠른 재생이 끝나는 시점인 $(t+T_{VCR})$ 시간의 원래 전송 대역폭 $T(t+T_{VCR})$으로 할당하기 위한 최소한의 선인출 시간이 되어야한다. 만일 이를 고려하지 않을 경우에는 원래의 전송정책으로 대역폭을 할당하더라도 선인출이 되지 않아서 재생되어야할 버퍼의 잔류량이 다르기 때문에 전송시 버퍼의 고갈 또는 넘침이 발생되게 된다. 즉, 원래의 대역폭 순화 정책에 위배되는 결과를 초래한다.

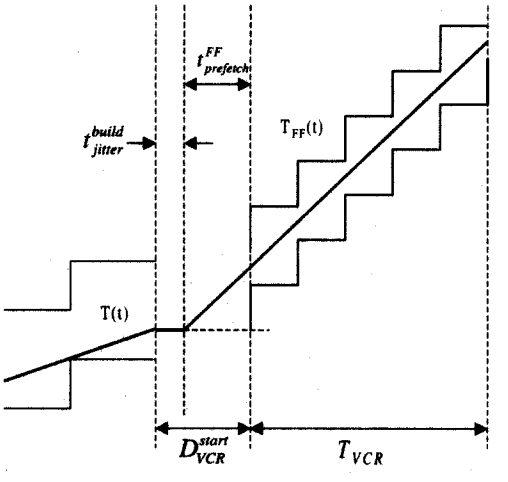
4.4.1 정상 재생에서 빠른 재생으로의 전환

(그림 7)은 정상 재생 모드에서 빠른 재생 모드로의 전환시의 전송 정책을 보여주고 있다. 여기서 $T(t)$는 정상 재생 모드에서의 전송율을 나타내며, $T_{FF}(t)$는 빠른 재생을 위해 새롭게 수정된 전송율 함수이다. 이때 발생되는 지연은 D_{VCR}^{start} 로 표기하며, 이 값은 대역폭 협상을 위한 지연과 빠른 재생을 위한 선택적 프레임 전송시 선인출 시간에 의해 결정된다. 대역폭 협상을 위한 지연을 t_{jitter}^{build} 로 표기하며, 이 시간 동안은 재생의 연속성을 유지하기 위해 클라이언트 버퍼 내에 잔류하는 비디오 정보를 정상 재생하게 된다. 따라서, 이 시점에서는 버퍼 잔류량 만큼의 재생시간 이전에 대역폭 협상이 이루어져야 한다.

$$t_{jitter}^{build} \geq [\text{Bandwidth Negotiation Time}]$$



(그림 6) VCR 기능 제공을 위한 대역폭 할당 모델



(그림 7) 빠른 재생 모드로의 전환시 대역폭 할당

한편, $D_{VCR}^{prefetch}$ 는 빠른 재생을 위해 이루어져야하는 선인출 시간으로써 이미 식(20)에서 구한 바 있다. 이 때의 전송율은 앞서 계산된 BW_{VCR} 값이 되며, $D_{VCR}^{prefetch}$ 시간 동안의 선인출이 이루어진 후에 빠른 재생이 시작될 수 있다. 그러므로 빠른 재생 개시를 위한 총 지연시간 D_{VCR}^{start} 은 다음과 같다.

$$D_{VCR}^{start} = t_{jitter}^{build} + D_{VCR}^{prefetch} \quad (21)$$

그리고 식(20)에 의해서 D_{VCR}^{start} 는 다음과 같다.

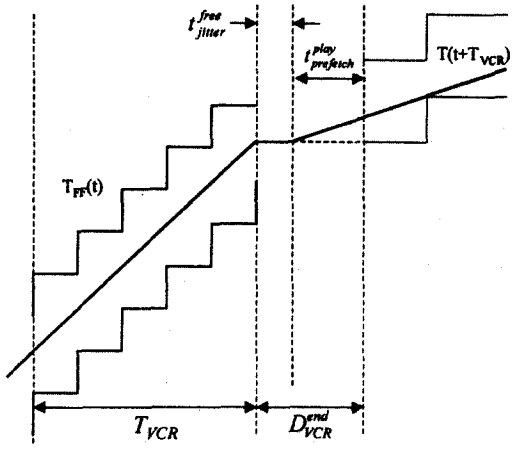
$$D_{VCR}^{start} = t_{jitter}^{build} + D_{VCR}^{prefetch} = t_{jitter}^{build} + \left| \frac{B}{2 * \Psi_{VCR}} \right| \quad (22)$$

여기서 B는 클라이언트의 버퍼 크기이며, Ψ_{VCR}은 DFSS 정책에 의해 결정된 대역폭이며, 대역폭 재협상이 성공적으로 이루어진 경우만 적용된다. 이 대역폭은 t_{jitter}^{build} 시간동안 협상된 대역폭이 되며, 빠른 재생을 위해 클라이언트 버퍼를 이 대역폭으로 전송하여 채우게 된다.

4.4.2 빠른재생에서 정상재생으로의 전환

(그림 8)은 반대로 빠른 재생 모드에서 정상 재생 모드로의 전환시 전송 정책을 나타낸다. 이 때도 마찬가지로 대역폭 협상에 의한 지연과 정상 재생을 위한 선인출 지연의 합으로 전체 지연시간을 계산할 수 있다. 하지만, 이 경우 대역폭 협상은 낮은 쪽으로 이루어지기 때문에 항상 가능하며 비교적 적은 부하를 가지고 작업이 이루어지게 된다. D_{VCR}^{end} 는 빠른 재생 모드의 종료 시점에서의 지연 시간을 의미한다. 이 시간은 대역폭 협상 시간 t_{jitter}^{free} 과 정상재생을 위한 선인출 시간 $D_{normal}^{prefetch}$에 의해 결정된다. 따라서 전체 시간은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$D_{VCR}^{end} = t_{jitter}^{free} + D_{normal}^{prefetch} \quad (23)$$



(그림 8) 정상 재생 모드로의 전환시 대역폭 할당

4.5 VCR 기능 서비스 품질

VCR 서비스를 제공할 때 그 서비스 품질은 DFSS (α, β)에 의해 결정되는데, GOP의 건너 띄는 주기인 α 값과 이때 선택되는 β 값에 의존한다. 여기서 결정되는 서비스 품질 속성은 재생 속도와 연속성으로 나눌 수 있다. 주어진 MPEG 비디오 스트림에 대해 재생 속도(배속)을 결정함에 있어 대역폭 소모과 연속성의 최적성을 모두 만족해야 하기 때문에 이에 대한 고려를 필요로 한다.

먼저, 재생 속도에 대한 결정 방법을 기술한다. 본 논문에서 제안하는 빠른 재생과 같은 VCR 기능의 제공은 원래의 프레임율을 유지시키면서 재생되는 프레임을 선택적으로 전송하는 방법을 사용하기 때문에 배속을 결정하기 위한 방법은 α, β 값에 의존한다. 즉, 배속(η)은 다음 식(24)로 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{\alpha * G}{\beta}, \quad \beta \le G \quad (24)$$

식(24)는 주어진 GOP의 크기에 대해서 α 의 주기로 이동하면서 β 만큼의 프레임을 선택하기 때문에 재생 속도를 의미하게된다. 예를 들어 정상재생 속도, 즉 1 배속을 위한 파라미터는 DFSS(1,G)이 되게 된다. 이는 모든 GOP를 선택하고 선택되어진 GOP 내의 모든 프레임을 전송하기 때문이다.

한편, 배속이 결정되었을 경우 최적의 서비스를 위해서는 재생의 연속성과 대역폭 소모의 최적성을 모두 만족해야만 한다. 최적의 연속성을 고려하기 위한 가정을 다음과 같이 둔다.

(가정 2) 동일한 배속이라도 프레임 선택 정책에 따라 재생의 연속성은 달라질 수 있다.

위와 같은 가정 하에서, 연속성에 대한 기준은 선택적 프레임 전송 정책에 의해 발생되는 프레임간의 편차로 둔다. 보다 정확한 연속성 측정을 위해 본 논문에서는 선택되는 프레임들에 대한 표준편차를 사용한다. 즉, 프레임들 간의 표준편차(δ)는 다음과 같이 유도된다.

$$\delta=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\beta}\left(P_i-\frac{\alpha*G-1}{\beta}\right)^2}{\beta}} \qquad (25)$$

단, P_i는 각 프레임 간의 거리를 의미한다. 그런데, 식(7)(8)로 부터 $P_1,\ldots,P_{\beta-1}=1$이고 $P_\beta=\alpha*G-\beta$이기 때문에 δ는 다음과 같이 정리된다.

$$\delta=\sqrt{\frac{\left[\left\{1-\frac{\alpha*G-1}{\beta}\right\}^2*(\beta-1)\right]+\left[(\alpha*G-\beta)-\left\{\frac{\alpha*G-1}{\beta}\right\}\right]^2}{\beta}} \qquad (26)$$

5. 실험 및 분석 결과

본 논문에서 성능평가를 위해 사용한 데이터는 <표 3>과 같으며, 모두 본 네트워크 연구실에서 Optibase 사의 MPEG 엔코더 Showsite™를 이용하여 생성한 데이터이다. 실험 데이터 중 내셔널지오그래피 비디오의 데이터율 만 2MB 이고 나머지는 모두 1.2MB로 엔코딩하였으며, 모든 비디오는 같은 프레임율, 픽쳐 크기, GOP 크기, KFL(ω) 크기를 갖도록 하였다.

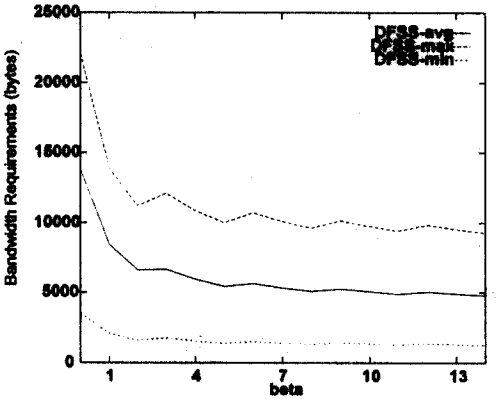
〈표 3〉 실험 MPEG 데이터

비디오	Conspiracy.mpg	Alien2.mpg	Starship.mpg	NationGeo.mpg
File Size	1.04GGB	645MB	656MB	946MB
Running Time	1 : 32 : 18	56 : 58	57 : 52	55 : 20
Data Rate	1.2Mbps	1.2Mbps	1.2Mbps	2Mbps
Frame Rate	29.97fps	29.97fps	29.97fps	29.97fps
Picture Size	352×240	352×240	352×240	352×240
Ave. Frame Size	5212 Byte	5211 Byte	5894 Byte	8340 Byte
Max. Frame Size	24684 Byte	22060 Byte	28460 Byte	43628 Byte
Min. Frame Size	256 Byte	512 Byte	256 Byte	192 Byte
GOP Size	9	9	9	9
ω(KFL)	3	3	3	3

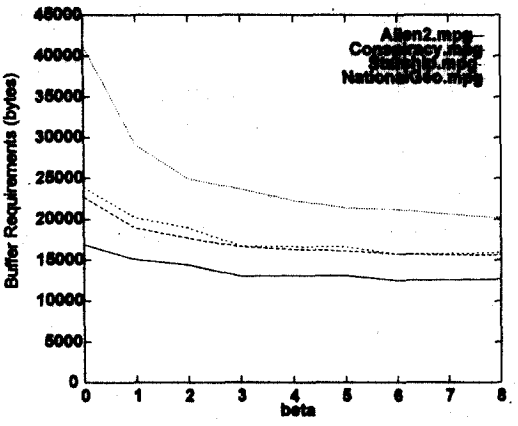
5.1 DFSS 대역폭 이득

(그림 9)는 비디오 Alien2.mpg를 대상으로 실험한 실시간 DFSS 기반의 예측 대역폭을 보여준다. 즉, 식(11)(14)(15)를 이용하여 DFSS-avg(Ψ_{VCR})과 DFSS-max (Ψ_{VCR}^{max}) 그리고 DFSS-min(Ψ_{VCR}^{min})를 DFSS 파라미터 β의 변화에 대해 보여주고 있다. 여기서 버퍼 요구 그래프는 식(19)에 의해 얻어진 결과에 DFSS 대역폭 Ψ_{VCR}을 더한 것이다. 따라서, DFSS-avg는 버퍼를 고려하지 않는 대역폭이며, 버퍼 요구 그래프는 버퍼를 고려한 할당 대역폭이 되고, 이 경우 대역폭 순화 효과를 가져오게 됨으로써 VCR 기능을 제공함에 있어 재생의 연속성을 유지시킬 수 있게된다. 여기서 알 수 있는 결과는 DFSS 파라미터 β가 증가됨에 따라 대역폭 요구량은 감소된다는 것이다. 이 때 일부 β 값의 선택이 대역폭 요구량을 약간 증가시키는 결과를 초래하는데, 그 이유는 ω값에 따라 P 프레임을 포함하기 때문이다. 따라서 주어진 ω값에 대해 적절한 β값을 선택하는 DFSS 전송 기법을 필요로 한다. 한편 DFSS 파라미터 α는 GOP 선택 변수이기 때문에 트래픽 량에 영향을 주기보다는 연속성에 영향을 준다고 할 수 있다.

(그림 10)은 4개의 실험 대상 비디오에 대하여 DFSS 파라미터 β를 변화시킴에 따라 요구되는 대역폭 양을 보여주고 있다. 여기서도 마찬가지로 β값의 증가가 곧 요구 대역폭을 감소시키는데, 그 변이는 주어진 비디오의 데이터율과 비례한다는 것이다. 즉, 큰 데이터 율을 갖는 비디오는 상대적으로 적은 DFSS 대역폭 이득을 갖게 된다는 것이다. 한편, 동일 배속을 대상으로 (그림 12)를 분석할 때, 큰 β값은 큰 α값을



(그림 9) DFSS에 의한 대역폭 요구



(그림 10) β 변화에 따른 비디오별 DFSS 대역폭 할당 결과

의미하게 되는데, 이는 이미 식(24)로 부터 β는 α에 비례함이 입증되었기 때문이다. 따라서, 요구되는 대역폭을 감소시키기 위해서 α 값을 증가시킬 필요가 없음을 알 수 있다. 또한, 이것은 식 (24)(25)에서의 서비스 품질에 있어 α β값의 크기에 대한 관계에 있어 α,β값이 작을수록 서비스 품질을 향상시킬 수 있다는 것에도 부합된다.

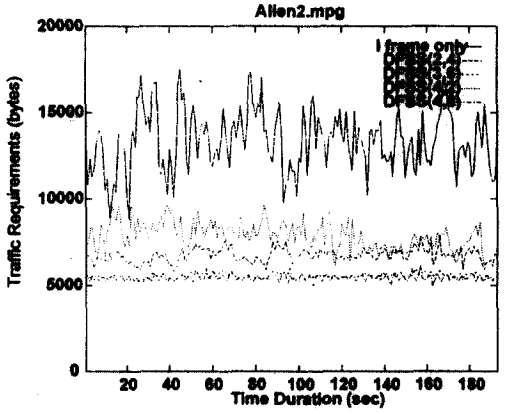
5.2 DFSS 트래픽 실험

(그림 11)은 제안된 DFSS 정책에 의한 실제 트래픽을 실험한 그래프이다. 실험 대상 비디오는 Alien2.mpg 파일로써, 초당 평균 트래픽을 구한 내용이다. 동일 배속을 기준으로 했을 때 I 프레임만의 전송 방법, DFSS(2, 4), DFSS(4, 8) 세가지 경우 대한 실제 발생 트래픽을 보여준다. 그림에서 알 수 있는 사실은 먼저 DFSS 전송 기법에 의한 발생 트래픽이 I 프레임만의 전송 방법에 비해 많은 대역폭 이득을 보인다는 것과 아울러 상대적으로 큰 β값은 발생되는 트래픽의 양을 줄인다는 사실을 다시 입증하고 있다.

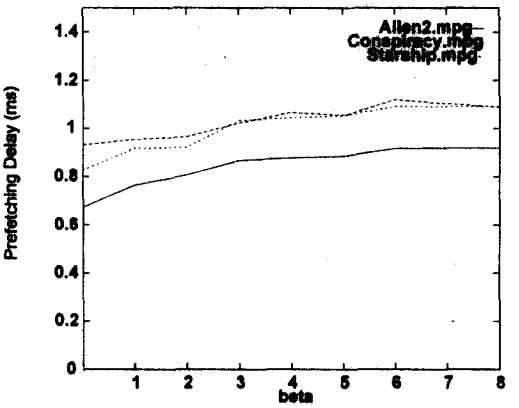
5.3 DFSS와 서비스 품질

(그림 12)는 정상 재생에서 빠른 재생과 같이 DFSS 대역폭을 할당할 경우 발생되는 선인출 지연($D_{VCR}^{prefetch}$)을 β의 변화에 따라 보여주고 있다. DFSS 파라미터 중 트래픽에 영향을 주는 파라미터는 β인데, 이 그림에서 알 수 있는 사실은 상대적으로 큰 β값은 적은 대역폭을 가지고 서비스 할 수 있다는 장점은 있지만 선인출 지연이 커진다는 단점이 있다는 것이다. 왜냐하면 선인출 지연은 빠른재생 모드로 전환시 DFSS 대역폭(Ψ_{VCR})에 의해 클라이언트 버퍼를 채우는 지연시간을 의미하며, 따라서, 상대적으로 큰 DFSS 대역폭은 그 만큼 빠른 시간에 버퍼를 채울 수 있는 반면, 적은 DFSS 대역폭은 그 만큼 느린 시간으로 버퍼를 채우기 때문이다. 이것은 식(20)을 통해 증명될 수 있다. 하지만 어느 이상의 β값에 대해서는 선인출 지연시간이 일정해 지는 것을 볼 수 있다.

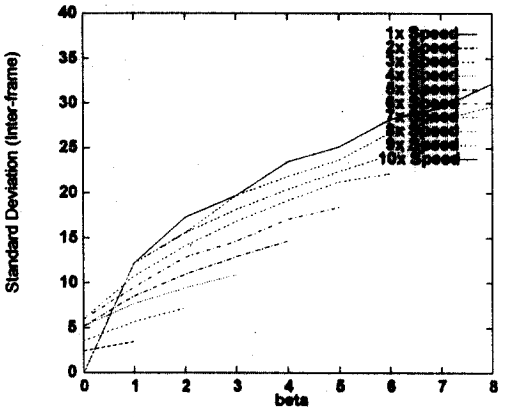
(그림 13)은 각 재생 속도(1배속~10배속)에 대해 DFSS 파라미터 α값을 변화시켰을 때의 프레임간 표준편차를 보여준다. 여기서 알 수 있는 사실은 GOP의 선택 주기인 α값의 증가는 동일 배속에서 표준편차를



(그림 11) DFSS 기법에 대한 트래픽 예



(그림 12) β 변화에 따른 선인출 지연 시간



(그림 13) GOP 선택 주기(α)에 대한 프레임 표준편차

크게 한다는 것이다. 즉, 동일 배속에서 α의 증가는 곧 재생의 연속성을 저하시키는 결과를 초래한다는 사실이다. 따라서, DFSS 파라미터의 선택시 재생의 연속성을 유지시키면서 동시에 트래픽 발생을 최소화시킬 수 있는 방법이 필요되며, 이것은 주어진 비디오의 프레임 시퀀스 패턴, 즉 GOP 크기와 ω에 의해 달라질 수 있다. 그러므로 이에 대한 최적성은 주어진 비디오에 종속적이며, 서비스 제공자의 선택에 달려 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

VBR 비디오의 전송은 프레임간의 심한 편차로 인해 네트워크 상에서의 서비스시 효과적인 대역폭 사용과 재생의 연속성 모두를 만족시키기 어려운 문제점이 존재한다. 따라서 이러한 문제는 클라이언트 버퍼를 통한 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법을 이용하여 해당 VBR 비디오가 요구하는 최대 대역폭(peak-rate bandwidth)을 이용하지 않고서도 연속적인 재생을 보장시킬 수 있다. 하지만, 현재까지 제안된 대역폭 순화 기법은 대부분 정상재생(normal play) 만을 고려하였기 때문에 주문형 비디오와 같은 대화형 서비스에 적용시킬 경우 서비스의 제한을 갖는다고 할 수 있다.

본 논문에서는 네트워크상의 비디오 서비스시 적용될 수 있는 대역폭 순화 정책을 이용함에 있어 기존에 고려되지 않았던 대화형 서비스 기능 즉, 빠른 재생과 같은 VCR 기능 제공을 위한 기법을 제안하고 제안하는 기법에 대한 성능을 분석하였다. 이 기법은 MPEG과 같은 VBR 비디오의 특성을 이용하여 동적 프레임 선택 전송을 시도함으로써 VCR 기능을 제공함과 동시에 발생되는 트래픽을 최적화시킴은 물론 재생의 연속성을 보장시킬 수 있는 대역폭 순화 기반의 비디오 전송 정책을 제공한다. 또한, 이 기법은 주어진 비디오 스트림에 대해 대화형 서비스를 위한 실질적인 버퍼 크기와 이를 기반으로 한 전송 정책을 결정할 수 있도록 하며, 다중 스트림 서비스시 대역폭 할당에 의한 대역폭 협상 정책을 제공한다.

본 논문의 결과로써, 대화형 서비스에 있어 대역폭 순화 기법의 현실성을 입증하였으며, 대화형 서비스를 제공하기 위한 여러 파라미터들을 도출하였다. 특히, 비트율이 높은 비디오와 프레임 편차가 심한 비디오의 서비스에서 보다 효과적인 대화형 서비스를 제공할 수 있는 방안을 제공하였다. 이들 파라미터를 이용하여 주어진 비디오에 대해 빠른 재생 제공 서비스시 동일 배속에서 현저히 대역폭을 낮출 수 있었으며, 동시에 재생의 연속성 품질도 최적화 시킬 수 있었다. 또한, 빠른 재생을 위한 대역폭 할당시 대역폭 요구량 감소를 위해서 상대적으로 큰 β값을 선택하는 것은 선인출 지연도 커지는 것을 밝혔다. 따라서, DFSS 파라미터의 선택시 재생의 연속성과 최적의 대역폭 할당을 모두 만족시킬 수 있는 방법이 요구되는데, 이에 대한 최적성은 주어진 비디오의 프레임 패턴에 종속적이다.

향후 과제로써 이러한 기법을 ATM과 같은 실제 전송 시스템에 적용시킬 수 있는 프로토타입과 전송 프로토콜을 개발하고 실험하는 것이 필요로 된다.

참 고 문 헌

[1] D. Le Gall, "MPEG : A Video Compression Standard for Multimedia Applications," Communications of the ACM, Vol.34 pp.30-44, April 1991.

[2] O. Rose, Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems , In Proc. Of Conference on Local Computer Networks, pp.397-406, October 1995.

[3] Dallas E., Wrege Hui Zhang, Edward W.Knightly, "Deterministic Delay Bounds for VBR video in Packet-Switching Networks : Funcdamental Limits

and Practical Tradeoffs," IEEE/ACM Transaction on Networking,, pp.352-362, June 1996.

[4] W. Feng and S. Sechrest, Critical bandwidth allocation for the delivery of compressed video , Computer Communications, Vol.18, No.10, pp.709-717, 1995.

[5] W. Feng, S. Sechrest and F. Jahanian, "Providing VCR Functionality in a Constant Quality Video-On-Demand Transportation Service," In Proceedings of MULTIMEDIA '96, pp.127-135, 1996.

[6] J. Salehi, Z. Zhang, J. F. Kurose, and D. Towsley. "Supporting Stored Video : Reducing Rate Variability and End-to-End Resource Requirements through Optimal Smoothing," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.6, pp.397-410, 1998.

[7] J. Zhang and J. Hui, "Traffic characteristics and smoothness criteria in VBR video transmission," In Proc. IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, June 1997.

[8] S. S. Lam, S. Chow, and D. K. Yau, "An algorithm for lossless smoothing of MPEG video," In Proc. ACM SIGCOMM, pp.281-293, 1994.

[9] W. Feng, F. Jahanian, and S. Sechrest, "Optimal buffering for delivery of compressed prerecorded video," ACM Multimedia System Journal, 1997.

[10] Ray-I Chang Chen, Jang-Ming Ho and Ming Tak Ko, "Optimizations of Stored VBR Video Transmission on CBR channel," In Proc. of the Performance and control of Network Systems, pp.382-392, 1997.

[11] J. Lauderdale and D.H.K. Tsang, Using the Minimum Reservation Rate for Transmission of Pre-Encoded MPEG VBR Video Using CBR Service , IEICE Trans. Communications, pp.1023-1029, 1996.

[12] P. Panch, M. E. Zarki, "Bandwidth-allocation schmes for variable-bit-rate MPEG source in ATM networks," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.3, pp.190-198, 1993.

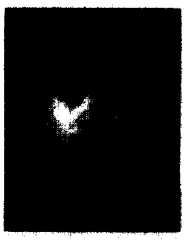
[13] J. M. del Rosario, G. C. Fox, "Constant bit rate network transmission of variable bit rate continous media in video-on-demand server," Multimedia Tools and Applications, Vol.2, pp.215-232, May 1996.

[14] M. Grossglauser, S. Keshav, "On CBR Service," In Proc. IEEE INFOCOM, 1996.

[15] M. Garrett and W. Willinger, "Analysis. modeling and generation of self-similar VBR video traffic," In Proc. ACM SIGCOMM, pp.269-280, 1994.

[16] 홍명준, 이승윤, 유황빈, "VOD상에서 VCR 기능 제공을 위한 MPEG 비디오 스트림 제어", 한국정보처리학회 '96 춘계학술발표 논문집, pp.470-474, 1996

[17] 이승윤, 유황빈, "MPEG 비디오 기반의 대화형 비디오 서비스를 위한 동적 대역폭 할당 방법", 한국정보처리학회 97 춘계학술발표 논문집, pp.752-757, 1997.



이 승 윤

e-mail : syl@pec.etri.re.kr

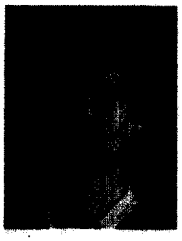
1991년 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)

1995년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 (이학석사)

1999년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 (이학박사)

1999년~현재 한국전자통신연구원 표준연구센터 선행표준연구팀 선임연구원

관심분야 : 멀티미디어 통신, 차세대인터넷



김 용 진

e-mail : yjkim@pec.etri.re.kr

1983년 연세대학교 전자공학과(공학사)

1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사)

1983년~현재 한국전자통신연구원 표준연구센터 선행표준연구팀장

관심분야 : 고속통신망기술, IP over ATM, 무선 ATM 기술, 차세대인터넷

유 황 빈

e-mail : ryou@cs.kwangwoon.ac.kr

1975년 인하대학교 전자공학과(학사)
1997년 연세대학교 대학원(공학석사)
1989년 경희대학교 대학원(공학박사)
1981년~현재 광운대학교 컴퓨터과학과 교수
1994년~1995년 美 UCSD 교환교수
1995년~1997년 광운대학교 전자계산소장
1997년~1999년 광운대학교 중앙도서관장
1999년~ 현재 광운대학교 기초과학연구소장
관심분야 : 멀티미디어 통신 및 응용, 네트워크 보안