

대화형 비디오 서비스를 위한 MPEG 비디오 기반의 동적 대역폭 관리 기법

이 승 윤[†] · 유 황 빈^{††}

요 약

가변 압축 미디어 특성을 갖는 비디오 서비스는 발생하는 프레임 단위의 트래픽의 유동성 때문에 대역폭 관리에 있어 많은 제약을 수반한다. 특히, MPEG 비디오와 같이 VBR(Variable Bit Rate) 트래픽 특성을 갖는 비디오에 대한 대역폭 관리는 프레임간의 심한 트래픽 변이 때문에 대역폭 활용 이득이 낮아진다. 또한, VOD(Video-On-Demand)와 같은 대화형 비디오 서비스에서 VCR 기능과 같은 대화형 서비스를 제공할 때의 트래픽 변화는 예측하기 힘들기 때문에 효과적인 대역폭 관리가 힘들다. 본 논문에서는 MPEG 비디오와 같이 VBR 트래픽 특성을 지닌 저장 미디어를 기반으로 하는 대화형 비디오 서비스를 위한 동적 대역폭 할당 방법을 제안한다. 이 방법은 선인출 기반의 가변구간 대역폭 할당 기법과 다수 스트림에 대한 동적 대역폭 관리를 통해 주어진 전체 대역폭의 활용율을 극대화시킨다. 또한, 제안하는 기법은 MPEG 스트림의 트래픽 특성을 반영한 대역폭 할당 방법을 적용하며, 다중 스트림에 대해 동적 대역폭 관리를 사용한 네트워크 자원 활용을 극대화시킬 수 있는 방법을 제공한다.

Dynamic Bandwidth Management Scheme for Interactive Video Service Based on MPEG Video

Seung-Yun Lee[†] · Hwang-Bin Ryou^{††}

ABSTRACT

A variable bit-rate based video services have much limitation for bandwidth management, since its traffic has a some variances in frame level. In particular, the bandwidth management for video which has characteristics of VBR traffic such a MPEG video could be more complicated. Also, it is difficult to manage the bandwidth effectively for providing a VCR function from VOD service, since we don't know the traffic variance exactly at that time. In this paper, we proposed the dynamic bandwidth allocation scheme based on VBR traffic based stored video such as MPEG for interactive video service. This scheme can maximize the given total bandwidth through the prefetch based variable length bandwidth allocation scheme and dynamic bandwidth management scheme for multiple streams. Also, our scheme can be used for a MPEG-based bandwidth allocation scheme, and provides the method that can maximize the utilization of network resource for multiple stream by using a dynamic bandwidth management.

1. 서 론

최근의 네트워크 기술과 저장장치 기술 그리고 미

디어 압축 기술의 급속한 발전은 다양한 멀티미디어 서비스를 가능하게 하고 있다. 특히, 사용자 중심의 대화형 멀티미디어 서비스인 주문형 비디오(VOD)나 대화형 TV(ITV) 서비스는 향후 가장 각광받게 될 멀티미디어 서비스가 될 것이다. 그리고 미디어 압축기술의

[†] 준 회원 : 광운대학교 대학원 컴퓨터학과
^{††} 종신회원 : 광운대학교 컴퓨터학과 교수
논문접수 : 1998년 1월 15일, 심사완료 : 1999년 1월 30일

대표적인 표준인 MPEG[3] 또한 가장 널리 사용되어질 동영상 미디어의 표준이다. 따라서, 향후의 대표적인 멀티미디어 응용 서비스인 대화형 TV나 주문형 비디오 서비스는 MPEG을 기본 미디어로 사용하게 될 것이다. 결국 이러한 MPEG 미디어를 기반으로 하는 멀티미디어 서비스에 대한 보다 효과적인 서비스 정책이 요구되며, 특히 네트워크 자원관리 측면에서의 효과적인 방법의 모색은 무엇보다 필수적인 사항이라 할 수 있다. 네트워크 자원 측면에 있어 가장 중요한 자원은 네트워크 대역폭(bandwidth)이라고 할 수 있으며, 이러한 대역폭의 효율적 관리는 제한된 네트워크 자원의 활용을 극대화시킬 수 있어 결국 다수의 사용자 트래픽을 처리할 수 있기 때문에 실시간 비디오 서버의 설계와 더불어 자원관리의 매우 중요한 요소이다.

대화형 비디오 서비스는 보장된 서비스 품질을 유지하면서 다수의 사용자를 지원할 수 있어야 하며, VCR 기능과 같은 대화형 서비스를 지원할 수 있어야 한다. 이렇게 하기 위해서는 제공되는 서비스의 트래픽 특성을 정확히 반영해야 한다. 하지만, 이러한 대화형 서비스는 그 특성상 발생하는 트래픽의 예측이 어려우며, 순간적으로 많은 양의 대역폭을 요구할 수 있기 때문에 효율적인 자원관리에 어려움이 따른다. 일반적으로 보장된 대역폭을 적용하기 위해 주로 그 서비스가 요구하는 최대 대역폭(peak rate)을 각 스트림에 할당시키는 정적인 할당(static allocation) 방법을 적용시켜 왔는데, 이 방법은 보장된 서비스를 제공할 수 있는 반면, 네트워크 자원의 활용율을 저하시키는 단점을 지닌다.

이와 같은 단점들을 보완, 개선시키기 위한 많은 선행 연구가 이루어졌다. 네트워크 상황에 따라 대역폭의 통계적인 관리(statistical management)를 시도하는 방법, 주기적인 네트워크 자원의 재접속(reconnection) 방법 그리고 피드백(feedback) 기법을 적용한 서비스 품질(QoS) 조절 방법 등이 제안되었다[1,2,4,7]. 또한, 최근에 와서 MPEG과 같은 가변 압축 미디어의 트래픽 특성을 이용한 대역폭 할당 방법들이 연구되고 있다. 이는 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법을 적용한 가변 압축 비디오의 트래픽 변이를 줄이는 방법이다. Zhang은 On-Off 방식의 대역폭 순화방법과 Polyline 대역폭 순화 방법을 제안하였다[9]. 한편, Feng은 임계 대역폭 순화 방법을 통한 대역폭 첨두치 발생율을 최소화시키는 방법(Critical Smoothing)을 제안하였으며[5], Salehi는 대역폭 변이를 최소화하는 대

역폭 순화 방법(MVBA)을 제안하였다[10]. 이들 기법은 모두 효과적인 대역폭 할당을 위해 대역폭 첨두치, 대역폭 변이를 등을 최적화 시키고 있지만, 몇 가지 제약을 지니고 있다.

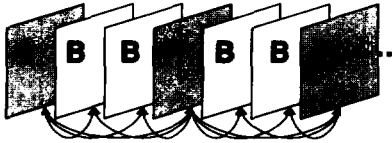
우선, 기본적인 서비스 모델을 비디오의 단순한 재생만을 고려하기 때문에, 빠른 재생과 역 재생과 같이 대화형 비디오 서비스를 고려하고 있지 않다. 그리고, 다중 스트림 서비스시 발생할 수 있는 등록제어 기법이나 서비스 중에 일어나게 되는 대역폭 재협상 등에 관한 문제를 고려하고 있지 않다. 또한, 앞의 두 가지 내용과 관련하여 실제 서비스 시스템으로 적용하기 위한 구체적인 정책이 부족하다고 할 수 있다.

따라서 대역폭 순화를 통한 비디오 전송시 발생할 수 있는 문제를 고려한 대역폭 할당 정책과 시스템 모델이 필요로 된다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해서는 사용되는 비디오의 트래픽 특성뿐만 아니라 서비스 특성도 반영하여 주어진 네트워크 자원 즉, 대역폭에 대한 활용을 극대화시킬 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다. 또한, 효과적인 비디오 서비스를 제공하기 위해서 그리고 보장된 비디오 서비스 품질을 유지하기 위해서는 대화형 서비스에 대한 트래픽 특성을 반영할 수 있는 새로운 대역폭 관리 정책이 요구된다.

본 논문에서는 대화형 비디오 서비스시 제한된 대역폭 내에서 서비스 품질을 보장하면서, 가능한 최대 사용자 스트림을 수용할 수 있는 효율적인 대역폭 관리 모델과 기법을 제안한다. 이 기법은 MPEG 비디오와 같이 프레임간 중속 특징을 갖는 가변 압축 미디어를 기반으로 하여 저장 비디오의 특성을 이용한 가변 구간 대역폭 할당 정책을 사용하며, 다수 스트림에 대한 서비스의 활용율을 극대화하기 위해 각 스트림 요구에 변화를 바탕으로 한 동적인 대역폭 할당 정책을 사용한다.

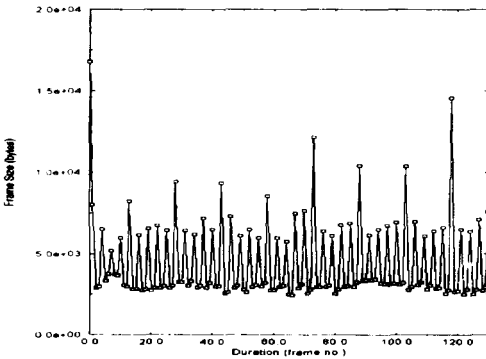
2. MPEG 비디오 트래픽 특성

MPEG 비디오는 기본적으로 프레임 단위의 압축을 사용하며, 다시 프레임간의 중복성을 제거하기 위해 프레임간의 압축 방법을 사용한다. MPEG 비디오에서의 프레임은 I, B, P인 3종류의 프레임으로 구성되는데, I 프레임은 독립적인 프레임으로써 자체 정보만을 가지고 구성되며(intra-frame), B, P 프레임은 I 프레임과의 차이를 가지고 압축된다(그림 1).



(그림 1) MPEG 비디오의 프레임 종속성
(Fig. 1) Frame dependency of MPEG Video

다시 말해서 이전 프레임과 이후 프레임 등과의 보간 및 예측 기법을 통한 압축 방법을 사용하여 만들어진 종속 프레임들이다(inter-frame). 따라서, I 프레임이 독립적 재생이 가능한 반면, B, P 프레임들은 선행되는 I 프레임을 비롯한 인접 프레임들과의 종속성 때문에 독립적 재생이 불가능한 특성을 지닌다. 트래픽 발생과 관련하여, MPEG 비디오의 프레임 크기는 I 프레임이 B, P 프레임에 비하여 상대적으로 크다. 따라서, MPEG 비디오는 프레임들의 시퀀스 특성상 주기적인 폭발성을 갖는다고 할 수 있다(그림 2).

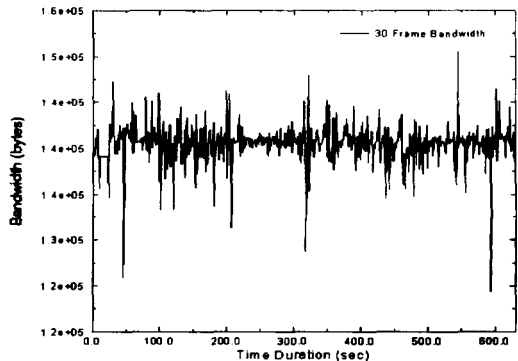


(그림 2) MPEG 비디오의 트래픽 발생 예
(Fig. 2) Example of MPEG Video Traffic

MPEG 비디오와 같이 프레임간 압축 기법을 사용하는 비디오는 일반적으로 가변 비트율(VBR)의 특성을 지니고 있으며, 다른 미디어에 비해 지연(delay)에 민감한 특성을 지닌다. 또한, 이러한 압축 비디오는 트래픽의 폭발성(burstiness) 때문에 효율적인 대역폭 관리가 어렵다는 특징이 있다. 따라서 일반적인 경우 전송 미디어가 요구하는 트래픽 특성을 만족시키기 위해 보통 최대 대역폭(peak-rate bandwidth)을 할당함으로써 보장된 서비스를 가능하게 할 수 있다. 하지만, 이 경우 사용되는 대역폭은 각 스트림에 대해 최대의 대역폭을 할당하기 때문에 시스템 전체 대역폭의 활용도

가 매우 낮아질 수 있는 단점을 지닌다. 따라서, 네트워크 자원의 관리에 있어 사용되는 미디어의 트래픽 특성이 반영된 동적인 대역폭 관리 기법과 이에 따른 스케줄링 정책이 요구된다.

(그림 3)은 영화 '터미네이터2'를 10분 30초간 샘플링한 MPEG 비디오 시퀀스이다(<표 1>). 이 그림에서도 볼 수 있듯이 초당 요구되는 대역폭 변이는 시간 변화에 따라 가변적인데, MPEG 비디오의 압축 특성 때문에 주기적인 트래픽 변이를 보임을 알 수 있다. 하지만, 이 프레임들의 크기는 그 내용에 따라 각기 다른 압축율을 지니고 해당 프레임이 I 프레임, B 프레임, 또는 P 프레임에 따라 정보량이 달라진다. 따라서, 이러한 MPEG 비디오의 프레임 특성을 고려한 비주기적인 대역폭 할당 방법을 적용함으로써, 동적인 대역폭 관리를 수행할 수 있는 가능성을 제공한다. 본 논문에서는 바로 이러한 저장 비디오(stored video)에 대해 요구 트래픽의 정보를 추출하여 동적인 대역폭 관리를 위한 기초 정보로 이용한다.



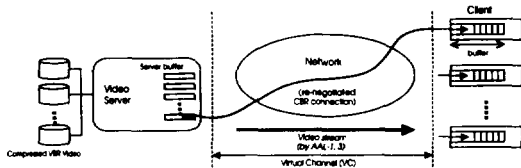
(그림 3) 영화 터미네이터 2의 트래픽
(Fig. 3) Traffic of Terminator 2

<표 1> 샘플 비디오 정보
(Table 1) Information of Sample Video

Video File Name	Terminate2.mpg
File Size	95.916MB
Number of Frame	19,964
Average Frame Size	4,798 byte
Time Duration	10min 30sec
Data Rate	140KB
Picture Size	352x240 pixels
Frame Rate	30 fps
GOP Size	15 frame
I Frame Average	13,681 byte
B Frame Average	6,833 byte
P Frame Average	3,062 byte

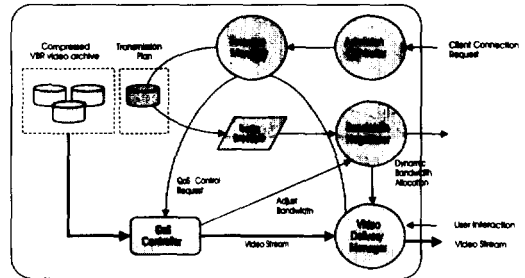
3. 동적 대역폭 관리를 위한 대화형 비디오 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 동적 대역폭 할당 및 관리를 위한 서비스 시스템 모델은 (그림 4)와 같다. 기본적으로 서버는 클라이언트가 요구하는 비디오 스트림에 대해 고정 대역폭을 적용하되 이 대역폭은 각 비디오에 종속적인 전송 계획을 가지고 있으며, 전송 중에 대역폭 재협상을 시도하게 된다. 따라서, 네트워크는 이를 지원할 수 있어야 하며, 서버는 클라이언트 버퍼가 고갈되거나 넘치지 않도록 적절한 전송율로 스트림을 전달해야 한다.



(그림 4) 서비스 시스템 모델
(Fig. 4) Service System Model

(그림 5)는 제안하는 대역폭 관리 모델과 그 동작 과정을 보여준다. 서버에서의 대역폭 관리 모듈은 자원 관리자(resource manager), 등록제어 관리자(admission control manager), 대역폭 협상 관리자(bandwidth negotiation manager), 비디오 전송 관리자(video delivery manager), QoS 제어기(QoS controller)로 구성된다. 등록제어 관리자는 최초 클라이언트로부터 접속 요구(connection request)를 처리하는 기능을 담당하며, 네트워크 자원의 상태에 따라 접속 여부를 결정짓는다. 대역폭 관리자는 접속이 결정된 클라이언트에 대해 할당할 수 있는 대역폭의 양을 결정하며, 이미 서비스 중인 스트림에 대한 동적인 대역폭 할당을 수행한다. 비디오 전송 관리자는 실질적인 비디오 스트림을 전송하는 부분으로써, 압축 비디오 저장 서버로부터 검색된 비디오 정보를 사용한다. 또한, 대화형 서비스인 VCR 기능을 제공하기 위해 MPEG 비디오의 시퀀스 특성을 이용하는 QoS 제어기를 돕으로써 완전한 대화형 비디오 서비스에 대한 대역폭 관리를 가능하게 한다. 이것은 사용자 요구에 의한 VCR 동작 요구에 대해 유연성 있는 프레임 선택 및 전송을 통해, 재생의 연속성과 대역폭 증가를 방지할 수 있도록 한다[9].



(그림 5) 대역폭 관리 모델
(Fig. 5) Bandwidth Management Model

대역폭 관리 시스템의 동작과정은 다음과 같다. 먼저 클라이언트의 접속 요구가 발생되면, 등록제어 관리자는 자원관리자를 통해 접속여부를 결정한다. 이때 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 전송되어진다. 만일 클라이언트로부터 VCR 기능과 같은 대화형 서비스 요구가 발생되면 QoS 제어기는 이에 대한 트래픽을 판단하고 대역폭 협상 관리자에게 알리고 클라이언트가 요구한 서비스를 제공하게 된다.

4. 동적 대역폭 할당

일반적으로, VBR 트래픽을 지원하기 위해서 앞서 언급한 바와 같이 접속시 네트워크에 대해 보장된 대역폭을 협상한다. 네트워크는 요구한 클라이언트나 어플리케이션에 대해 접속요구를 수락하기 위해 등록제어(admission control) 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘을 통해 서버는 클라이언트에게 접속 여부와 접속 허락시 할당되는 대역폭을 결정한다. 이 때, 대역폭을 할당하는 방법은 여러가지로 가능한데, VBR 트래픽에 대한 가장 안전한 처리방법은 앞서 언급한 바와 같이 보장된 서비스를 위해 최대 대역폭(peak rate)을 할당하는 것이다. 하지만, 네트워크의 자원 활용을 극대화시키는 측면에서 보다 효과적인 방법이 요구되며, 특히 MPEG 비디오와 같은 미디어에 대해서 VBR 트래픽 특성을 반영한 대역폭 할당 방법이 사용되어야 할 것이다. 또한, 이미 접속된 스트림들에 대한 대역폭 변

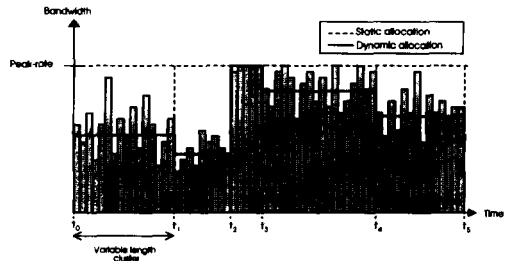
경 요구시 효과적인 대역폭 할당 방법이 필요로 된다.

본 논문에서는 대화형 비디오 서비스를 위한 대역폭 할당에 대해 압축 저장된 비디오(stored video)의 사용을 전제로 한다. 일반적으로 대역폭 변경에 따른 전송 방법에 있어, 라이브 비디오(live video)의 경우 비디오의 생성시 그 품질을 가변적으로 처리함으로써 동적인 대역폭 관리를 수행할 수 있다. 하지만 저장 비디오의 경우 이미 전송될 비디오의 품질이 결정되어 있기 때문에 전송 비디오의 자유로운 품질 변경이 어려운 단점이 있다[7]. 반대로, MPEG 비디오와 같이 저장된 형태의 비디오는 라이브 비디오와 달리 이미 압축된 형태로 존재하기 때문에 전송 전에 트래픽 특성을 파악할 수 있는 특성을 갖는다. 따라서, 오프라인(off-line) 상에서 미리 비디오에 대한 트래픽 요구 변화 정보를 추출함으로써 동적 대역폭 할당을 가능하게 한다. 또한, 대화형 비디오 서비스시에도 주어진 비디오 스트림의 트래픽 정보로부터 VCR 기능 요구시 발생될 수 있는 대역폭의 양을 계산할 수 있다.

4.1 대역폭 순화를 통한 가변구간 대역폭 할당

저장 비디오의 특성을 이용하여, 이미 존재하는 MPEG 비디오에 대해 요구 대역폭을 미리 계산함으로써 전체 서비스 대역폭의 활용율을 높일 수 있도록 한다. 본 논문에서는 MPEG 비디오 트래픽의 폭발성(burstiness)을 고려한 대역폭 할당을 위해 선인출(prefetch) 기법에 근거한 대역폭 순화(bandwidth smoothing) 기법을 사용하며, 서비스되는 비디오를 위한 최적 대역폭을 구한다. 선인출을 통한 대역폭 순화는 요구되는 대역폭의 증가를 최소화시키면서 버퍼용량 초과(overflow) 현상이나 반대로 버퍼의 기근(starvation) 현상이 발생되지 않도록 할 수 있다[5]. 특히, 본 논문에서는 대역폭 할당 정책의 효율성을 높이기 위해 가변구간 대역폭 할당 기법을 사용하며, 이것은 주어진 비디오를 다수의 클러스터(cluster) 단위로 분할하고 각각에 대해 요구되는 양만큼의 대역폭을 할당시킴으로써 전체 대역폭 활용율을 높일 수 있도록 한다. 동시에 각 클러스터를 위해 할당되는 대역폭은 버퍼링을 고려하고 있기 때문에 버퍼의 크기에 따라 효율을 조절할 수 있다.

(그림 6)에서 볼 수 있듯이 하나의 비디오 시퀀스가 가변길이의 클러스터로 분할되며, 각 클러스터는 각기 다른 대역폭으로 할당된다. 즉, 서비스되는 비디오는 매 시간 t_i 에서 새로운 대역폭 할당을 위한 협상을 시도한다.



(그림 6) 클러스터 기반 동적 대역폭 할당
(Fig. 6) Cluster-based Dynamic Bandwidth Allocation

먼저, 가변구간의 대역폭 할당을 위한 구간을 분할하기 위해서 전체 평균대역폭(BW_{avg}^{total})과 할당된 버퍼의 크기(S_{alloc}^{buffer})를 이용한다. 즉, 하나의 비디오에 대한 전체 평균 대역폭을 기준으로 하여 각 시간에 요구되는 대역폭과 비교를 통해 스트림의 재생시 발생될 수 있는 버퍼(S_{fill}^{buff})의 초과(overflow) 또는 기근(starvation)이 발생되지 않는 구간을 찾으려 한다. 그 조건은 다음과 같다.

$$\Theta = \{ S_{fill}^{buff}(t) - BW_{require}(t) + BW_{avg}^{total} \} \quad (1)$$

따라서, Θ 의 값에 따라 버퍼의 상태를 알 수 있다.

- $\Theta > S_{alloc}^{buffer}$: 버퍼 초과(overflow)
- $\Theta < 0$: 버퍼 기근(starvation)

그리고, 하나의 클러스터 내에서 결정되는 대역폭은 선인출 버퍼의 양에 따라 가변적이다. 즉, 버퍼가 없는 경우는 그 클러스터 내에서 요구하는 가장 높은 대역폭이 기준이 된다. 따라서, k 번째 클러스터의 길이가 $L_k^{cluster}$ 이고 그 클러스터 내에서 요구하는 순간 대역폭이 b_i^{size} 이면, 그 클러스터에 할당되는 대역폭($BW_k^{cluster}$)은 다음과 같이 구할 수 있다.

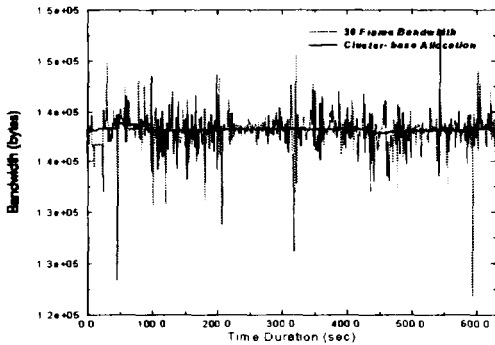
$$BW_k^{cluster} = \max \left\{ \bigcup_{i=1}^{L_k^{cluster}} b_i^{size} \right\} \quad (2)$$

하지만, 버퍼가 있을 경우 평균 대역폭에 의한 구간 할당 기법을 적용할 수 있다.

1) 본 논문에서는 MPEG 비디오 스트림에 대해 1초(30프레임)를 기준으로 요구하는 대역폭을 계산함을 가정한다.

$$BW_k^{cluster} = \min \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{L_{cluster}} b_i^{size}}{L_{cluster}} + \frac{S_{buffer}}{i} \right\} \quad (3)$$

(그림 7)은 대역폭 순화를 고려한 동적 대역폭 할당의 실제 예를 보여주고 있다. 여기서는 버퍼를 둔 선인출을 고려하였기 때문에 각 클러스터에서 할당되는 대역폭은 최대 대역폭을 사용하지 않음을 볼 수 있다.

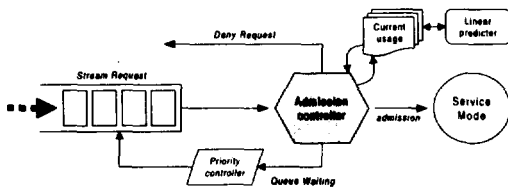


(그림 7) 선인출 기반 가변기간 대역폭 할당 예 (Fig. 7) Prefetch-based Variable Period Bandwidth Allocation

4.2 등록제어 절차

사용자의 최초 접속 요구에 대한 허락 여부를 결정하기 위해 동적인 등록제어(admission control) 기법을 사용한다. 본 논문에서 제안하는 등록제어 기법은 앞서 설명된 가변 대역폭 할당 기반의 스트림 서비스와 밀접한 관계를 갖는 것으로 서비스 중에 대역폭의 재협상이 이루어지는 점을 고려한다.

(그림 8)은 본 논문에서 제안하는 동적 대역폭 관리를 위한 등록제어 모델을 보여준다. 즉, 스트림 요구는 큐에 대기되며 시스템 자원의 상황에 따라 서비스 여부가 결정되며, 이를 위해 현재까지의 대역폭 사용 요구를 기반으로 한 예측 정보와 큐에서의 우선 순위 제어 기법을 사용한다.



(그림 8) 등록제어 모델 (Fig. 8) Admission Control Model

어떤 스트림이 최초의 접속을 시도하면, 등록제어 관리자는 현재 서비스되고 있는 스트림들이 사용하고 있는 대역폭으로부터 남아있는 대역폭($BW_{current}^{remain}$)을 계산하며, 이때 접속을 요구한 스트림의 초기 요구 대역폭(BW_i^{req})과의 비교를 수행한다. 하지만, 현재 서비스되고 있는 스트림들의 대역폭 소모량($BW_{current}^{use}$)은 가변적이기 때문에 이를 고려한 등록제어를 수행하게 된다. 즉, 현재의 점유된 대역폭의 양과 그 대역폭의 상태가 증가 또는 감소하는가에 따라 새로운 접속을 결정하도록 함으로써 접속 후에 발생할 수 있는 대역폭 변경 실패율(bandwidth change failure rate)을 줄일 수 있도록 한다. 이를 위해 시스템은 전체 사용 가능한 대역폭(BW_{system}^{total})에 대해 점유된 대역폭의 과거 기록을 유지하여, 새로운 대역폭 할당의 기초 정보로 사용한다. 이를 위하여, 본 논문에서는 대역폭 변화 예측을 위해 선형 예측법을 사용한다. 시간 $(t-1)$, (t) 에서의 대역폭 점유를 각각 $\Phi(t-1)$, $\Phi(t)$ 라고 했을 때, 시간 $(t+1)$ 에서의 예측 대역폭은 다음과 같다.

$$\Phi(t+1) = 2 * \Phi(t) - \Phi(t-1) \quad (4)$$

따라서, 사용자 i 가 요구하는 스트림의 수용을 결정하는 조건은 다음과 같다.

$$\{BW_{system}^{total} - \Phi(t+1)\} \leq BW_i^{avg} \quad (5)$$

즉, 시스템의 전체 대역폭의 양에서 예측된 대역폭을 뺀 나머지 대역폭이 요구하는 대역폭 보다 크거나 같아야 한다. 여기서 BW_{system}^{total} 은 시스템에서 사용하는 전체 대역폭이고, BW_i^{avg} 은 사용자 i 가 최초 요구하는 대역폭이다. 결과적으로, 새로운 접속이 이루어지기 위해서는 새로운 접속이 요구하는 충분한 대역폭이 존재하는 조건과, 현재 점유된 대역폭이 증가하지 않아야 하는 조건을 모두 만족해야 한다.

또한, 잔여 대역폭이 할당 가능하더라도 사용되는 대역폭의 예측 결과가 증가하게 되면 그 증가의 정도에 따라 접속을 허용하는 대신 큐에 대기시킬 수도 있다. 이 때, 큐에 대기되는 스트림은 처리의 우선 순위를 설정한다. 본 논문에서 적용하는 등록제어 알고리즘은 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 등록제어 알고리즘
 〈Table 3〉 Admission Control Algorithm

```

if new_request, user i is exist
then
    get  $BW_i^{req}$  from Bandwidth Table
     $BW_{current}^{new} = \sum_{k=1}^{N_{user}} BW_{current}^k$ 
     $BW_{current}^{remain} = BW_{system}^{total} - BW_{current}^{new}$ 
    if  $BW_{current}^{remain} > BW_{current}^{new}$ 
    then
         $\Phi(t+1) = 2 * \Phi(t) - \Phi(t-1)$ 
        if  $\Phi(t) - \Phi(t+1) \geq 0$ 
        then
            allow new_request
             $BW_i^{allocated} = BW_i^{req}$ 
        else
            deny user i
            set priority  $p=p+1$  to user i,
            waiting at queue
        endif
    else
        deny new_request
    endif
endif
    
```

4.3 동적 대역폭 재협상 기법

최초의 대역폭 할당은 등록제어 관리자에 의해 네트워크 상에 서비스되고 있는 스트림의 수에 따라 결정되며, 접속이 된 후에는 전송되는 비디오의 트래픽 특성에 따라 대역폭을 재협상하는 정책을 사용한다. 이미 접속된 스트림에 대해, 서비스 중 동적으로 대역폭을 할당하기 위해서는 3장에서 설명한 대역폭 할당 테이블의 클러스터 정보를 기준으로 한다. 즉, 한 편의 비디오는 여러 개의 클러스터로 분할되어 있으며, 이 클러스터들은 각자 요구하는 대역폭이 다르고, 그 주기 또한 가변적이다. 따라서, 재생 중에 대역폭 할당의 변경 시기는 클러스터의 변경시기와 같다.

제안하는 동적 대역폭 변경 기법은 다음과 같다. 서비스 중에 대역폭 변경 요구가 발생하면, 현재 점유된 전체 대역폭과 변경되는 대역폭의 합이 시스템이 사용하는 전체 대역폭을 초과하는지 검사하여 대역폭 변경 여부를 결정한다. 즉, 대역폭 변경 요구는 증가할 수도 있으며, 감소될 수도 있다. 하지만 문제가 될 수 있는 것은 증가하는 경우로, 이 때는 시스템에 남아 있는 대역폭에 따라 변경 여부가 결정된다.

현재 서비스되고 있는 스트림들($N_{service}^{user}$)이 요구하는 대역폭 변경의 양은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta(t) = \sum_{i=1}^{N_{user}} BW_{change}^i \quad (6)$$

따라서, $\Delta(t)$ 의 부호에 따라 전체 대역폭의 변화가 결정된다.

- $\Delta(t) > 0$: 추가 대역폭 요구, 잔여 대역폭에 의해 결정
- $\Delta(t) \leq 0$: 추가 대역폭 불필요, 대역폭 변경 허용

결국, $\Delta(t)$ 가 0보다 클 경우가 문제가 되는데, 이 때에는 시스템의 잔여 대역폭($BW_{current}^{remain}$)과 $\Delta(t)$ 에 의해 대역폭 변경 여부가 결정된다. 이 때 잔여 대역폭이 모두 수용할 수 있을 만큼의 여유가 있을 경우에는 문제가 되지 않지만 그렇지 않을 경우에 어떤 스트림들은 요구하는 대역폭을 할당받을 수 없는 상황이 발생된다. 따라서, 이에 대한 스케줄링이 필요하며 다음과 같은 방법들을 적용할 수 있다.

- 대역폭 증가 스트림들에 대해 잔여 대역폭을 요구량의 비율로 나누어 할당
: RBA(Rate-Based Allocation) Policy
- 대역폭 증가 스트림들의 요구량에 따라 휴리스틱 방법 적용
: HBA(Heuristic-Based Allocation) Policy

RBA 정책은 대역폭 증가 요구 스트림들에 대해 잔여 대역폭을 요구량의 비율에 따라 할당하는 것으로서, 모든 스트림들을 서비스할 수 있는 장점이 있는 반면, 모든 스트림들의 재생 품질이 저하되는 단점이 있다. 그리고, HBA 정책은 대역폭이 증가되는 스트림들의 요구량을 관찰하여 시스템의 잔여 대역폭과 비교한 다음, 상태에 따라 가변적으로 서비스되는 스트림과 할당될 대역폭을 결정하는 방법이다. HBA 정책은 주로 가장 낮은 폭의 증가량을 갖는 다수의 스트림들을 억제시킴으로써 높은 폭의 증가량을 요구하는 스트림에게 우선적으로 대역폭을 할당한다. 그리고, 제안하는 두 방법 모두는 주어진 대역폭의 활용율을 극대화시키는 것을 기본 정책으로 사용하며, 상황에 따라 대역폭 증가 요구가 일부만 수용되거나 실패하는 스트림들도 존재하는데, 이 스트림들은 다음 요구시 할당 우선순위가 높아진다.

4.4 VCR 기능 지원을 위한 대역폭 할당

대화형 비디오 서비스에서의 VCR 기능은 재생, 정지, 일시정지, 빠른 재생, 빠른 역재생 등으로 구분되는데, MPEG에서 이와 같은 처리는 미디어가 갖는 특성상 쉽지 않다. 즉, MPEG의 프레임간 종속성 때문에 재생속도의 자유로운 변경이라든가, 되감기를 위한 연속성의 유지 등이 매우 힘들다. 그리고, 기존의 방법은

MPEG을 구성하는 프레임 중 독립적 재생이 가능한 I 프레임만을 재생함으로써 빠른 재생, 빠른 역재생 구현하고 있다[8]. 하지만, 트래픽 관리 입장에서 이 방법은 상대적으로 많은 대역폭을 요구하게 되며, 이러한 기능을 빈번히 요구하는 경우, 요구 대역폭의 증가로 대역폭 활용율이 급격히 저하되게 된다.

본 논문에서는 먼저 VCR 기능 제공을 위해서 프레임의 연속성 유지와 대역폭 증가를 방지할 수 있는 방법인 프레임 선택 기법인 DFSS(Dynamic Frame Selection Scheme)를 적용한다[11]. 즉, MPEG 비디오 사용을 전제로 VCR 기능 요구에 따른 대역폭의 증가를 줄이기 위해, 각 MPEG 비디오의 특성을 고려한 선택적인 프레임 전송 기법을 적용시킨다. 이 방법에서는 빠른 재생을 구현하기 위해 I 프레임 이외의 B,P 프레임을 포함한 선택적 전송기법을 사용함으로써 대역폭 증가를 방지할 수 있다. 또한, 선택되어지는 프레임 수를 조절 가능하기 때문에 GOP의 크기에 관계없이 빠른 재생의 속도를 조절할 수 있는 잇점을 지닌다. 따라서, 빠른 재생(FF)과 같은 서비스가 요구되더라도 순간 요구 대역폭의 변이가 상대적으로 크지 않기 때문에 서비스 중의 대역폭 협상이 비교적 용이하다.

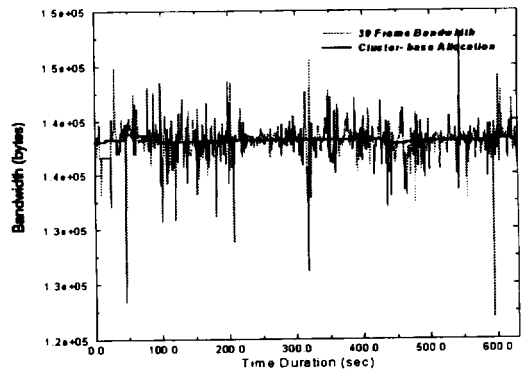
하지만, 빠른 재생과 같은 VCR 기능 제공시, 발생되는 대역폭 요구에 대한 예측은 미리 할 수 없는 특징 때문에 순간적인 대역폭 협상 처리를 할 수 있도록 해야한다. 본 논문에서는 VCR 기능제공을 위한 대역폭 협상을 위해 해당 비디오의 가변구간 대역폭 할당시 DFSS 정책 적용을 위한 정보를 미리 계산함으로써, 추후 서비스 별도의 추가연산 없이 요구 대역폭을 구할 수 있도록 한다. 즉, 각 프레임별 평균대역폭에 대한 정보와 DFSS 파라미터 $M(\alpha, \beta)$ 를 통해 빠른 재생(FF)과 같은 서비스시 요구되는 대역폭은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$BW_{FF} = \left\{ b_{avg}^I + \sum_{i=1}^{\beta - (1 + \frac{\omega}{\alpha})} b_{avg}^B + \sum_{i=1}^{\frac{\omega}{\alpha}} b_{avg}^P \right\} * \frac{\gamma}{\beta} \quad (7)$$

여기서 β 는 α 수만큼의 GOP 단위로 건너 뛰면서 선택된 해당 GOP 내에서의 실제 전송되는 프레임의 수이다. 그리고 ω 는 하나의 GOP 내에 존재하는 프레임 시퀀스 상에서의 프레임 패턴, 즉 I 프레임과 P 프레임의 간격을 의미한다. $(b_{avg}^{I,B,P})$ 는 각 프레임들에 대한 평균 대역폭을 의미하고, γ 은 프레임 울을 의미한다.)

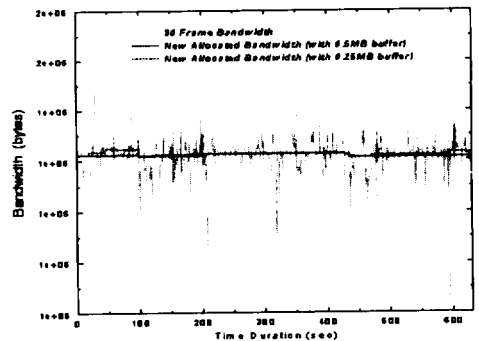
5. 성능분석

(그림 9)는 가변 구간을 갖는 클러스터 기반 대역폭 할당 결과를 보여주고 있는데, 여기서 알 수 있는 결과는 MPEG 비디오가 갖는 VBR 트래픽 특성에 비해 할당된 대역폭은 상당히 많은 대역폭 순화를 시킬 수 있다는 점과 대역폭 재 협상율이 적은 것을 알 수 있다. 또한, 할당된 대역폭의 변이는 주어진 버퍼의 크기에 종속적이기 때문에 버퍼와 대역폭 효율의 이득간에서 서로 상반되는 관계가 있으며, 이에 대한 최적성은 시스템 환경에 따라 달라질 수 있다.



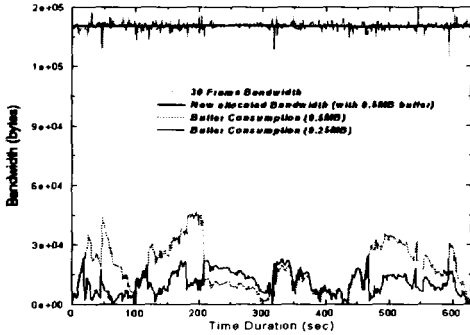
(그림 9) 가변구간 클러스터 기반 대역폭 할당
(Fig. 9) Variable Period Cluster-based Bandwidth Allocation

(그림 10)은 버퍼 크기에 따른 제안 기법의 성능 차를 보여주고 있다. 버퍼의 크기에 따라 대역폭이 할당되는 클러스터의 수가 적어지고 따라서 대역폭 활용이득이 높아짐을 알 수 있다.



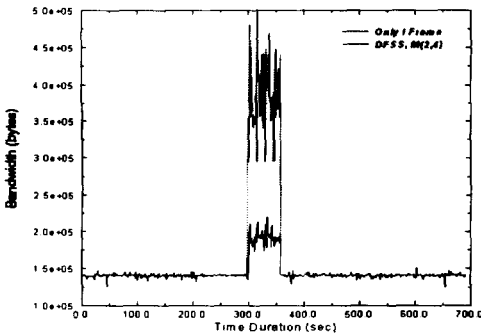
(그림 10) 버퍼크기와 클러스터 기반 대역폭 할당
(Fig. 10) Bandwidth Allocation vs Buffer Size

(그림 11)은 제안하는 가변 클러스터 기반의 대역폭 할당 정책으로 서비스할 때의 버퍼 소모 상태를 보여준다.



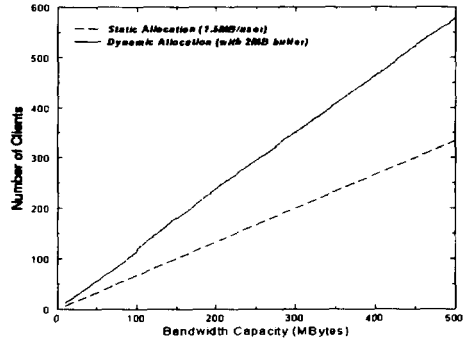
(그림 11) 버퍼 소모율
(Fig. 11) Buffer Consumption Rate

(그림 12)는 VCR 기능에 의한 대역폭 변화와 제안하는 대역폭 할당 정책의 결과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, I 프레임만의 전송에 의한 FF구현 방법은 별도의 전송 메카니즘이 없다면 상당히 많은 대역폭을 요구한다. 하지만 제안하는 기법(DFSS)을 적용했을 경우, I 프레임 이외에 P 또는 B 프레임의 전송이 함께 이루어지기 때문에 요구되는 대역폭은 상대적으로 감소됨을 알 수 있다.



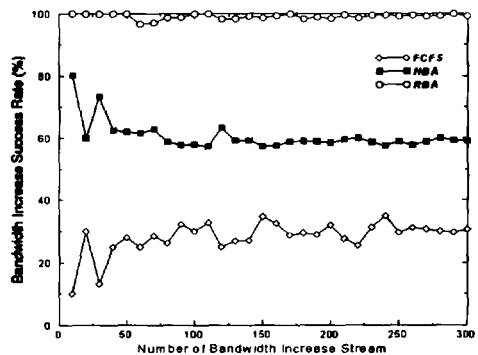
(그림 12) VCR 동작을 위한 대역폭 할당
(Fig. 12) Bandwidth Allocation for VCR-action

(그림 13)에서는 시스템의 전체 대역폭 용량에 따른 수용될 수 있는 사용자 수의 변화를 보여준다. 정적인 할당 (static allocation) 방법과 제안하는 방법(dynamic allocation)의 차이를 볼 수 있는데, 정적인 대역폭 할당은 항상 동일한 대역폭을 할당하기 때문에 일정한 비율로 스트림의 수가 증가하는 반면, 제안하는 방법은 대역폭 순화를 통한 동적 대역폭 할당에 의해 보다 많은 사용자 수를 수용할 수 있음을 보인다. 또한, 이 방법은 요구 대역폭이 가변적이기 때문에 완전한 선형증가는 이루어지지 않는다.



(그림 13) 등록제어 성능
(Fig. 13) Admission Performance

(그림 14)는 이미 수용된 스트림들의 대역폭 변경 요구량이 잔여 대역폭을 초과할 때 사용되는 대역폭 재협상을 위한 정책(RBA, HBA)에 대한 성능을 보여준다. 성능 비교를 위한 기법은 FCFS(First Come First Serve)로써 특정한 스케줄링 없이 변경 요구 큐에 있는 순서대로 할당하도록 한 방법이다. 따라서, 이 방법은 상태에 따라 대역폭 활용에 대한 이득 손실이 커질 수 있다. 반면 제안하는 HBA 및 RBA 정책은 스트림의 요구 상태를 분석하여 이득율을 높일 수 있도록 한다. 하지만 RBA 정책의 경우 대부분의 스트림을 서비스하는 대신 서비스 품질이 저하되는 단점이 존재한다.



(그림 14) 대역폭 재협상 성능
(Fig. 14) Bandwidth Re-negotiation Performance

6. 결 론

본 논문에서는 MPEG 비디오와 같이 VBR 트래픽 특성을 갖는 미디어를 기반으로하는 대화형 비디오 서비스시 적용될 수 있는 동적 대역폭 할당 정책과 대역

폭 관리 모델을 제안하였다. 제안하는 모델은 MPEG 비디오를 사용하는 대화형 비디오 서비스에 있어 대역폭 관리를 효과적으로 할 수 있도록 설계되었으며, 동적인 대역폭 할당을 통해 보다 효과적인 네트워크 자원 활용을 가능하게 한다. 특히, MPEG 미디어의 특성을 반영한 대역폭 할당 정책은 기존의 방법보다 자원의 활용도를 극대화시킬 수 있었으며, VCR 기능 제공 시 선택적인 프레임 전송 기법에 의해 기존의 MPEG 비디오에 대한 VCR 기능 제공 방법이 지녔던 대역폭 증가 문제를 해결하였다. 또한, 제안하는 동적 대역폭 할당을 위한 등록제어 메커니즘을 통해 보다 유연성 있는 서비스를 제공할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

[1] A.Krishnamurthy, T.D.C Little, "Connection-oriented service renegotiation for scalable video delivery," *In Proceeding of the International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp.502-507, May 1994.

[2] Dallas E., Wrege Hui Zhang, Edward W.Knightly, "Deterministic Delay Bounds for VBR video in Packet-Switching Networks : Fundamental Limits and Practical Tradeoffs," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, pp.352-362, June 1996.

[3] D. Le Gall, "MPEG : A Video Compression Standard for Multimedia Applications," *Communications of the ACM*, pp.305-313, April 1991.

[4] C. Beckmann, A. Moin, "Bandwidth reservation with selectable bit-rate streams," *Multimedia Systems*, August 1995.

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

[6] Hung-Ju Lee, Jyh-Chan Liu, "Real-Time Guaranteed Video Transport for Video-On-Demand Systems," *In Proceedings of MULTIMEDIA '96*, pp.156-159, 1996.

[7] Carl J. Beckmann, "Dynamic Bandwidth Allocation for Interactive Video Applications over Corporate Networks," *Technical Reports from Dartmouth College*, 1995.

[8] H.J. Chen, A.Krishnamurthy, T.D.C. Little, D.Venkatesh, "A Scalable Video-on-Demand Service for the Provision of VCR-Like Functions," *In Proceedings of the International Conference on Multimedia Computing and Systems*, pp.65-72, 1995.

[9] 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.

[10] 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," *In ACM SIGMETRICS 96*, 1996.

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



이 승 윤

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

1991년 2월 광운대학교 전자통신학과(공학사)

1995년 8월 광운대학교 전자계산학과(이학석사)

1995년 9월~현재 광운대학교 전자계산학과 박사과정 재학중

관심분야 : 주문형 비디오, 멀티미디어, 네트워크



유 황 빈

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

1975년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)

1977년 7월 연세대학교 대학원(공학석사)

1989년 2월 경희대학교 대학원(공학박사)

1994년 2월~1995년 2월 美 UCSD 교환교수

1995년~1997년 광운대학교 전자계산소장

1981년~현재 광운대학교 컴퓨터과학과 교수

1995년~현재 광운대학교 신기술연구소 연구원

1997년~현재 광운대학교 중앙도서관장

관심분야 : 네트워크 보안, 멀티미디어 통신, VOD