

VoD 시스템에서 선반입 기법을 이용한 대화식 동작의 설계

(Design of Interactive Operations
using Prefetching in VoD System)

김 순 철*

(Soon-Cheol Kim)

요 약 VoD(Video-on-Demand) 시스템에서 다루는 데이터는 대용량이며 실시간에 처리되어야 하는 연속 매체의 특성을 지니고 있다. 대용량의 데이터가 차지하는 저장 공간과 전송 대역폭을 줄이기 위해 사용되는 압축 기법과 데이터의 실시간 처리를 보장하기 위한 자원의 예약 기법은 모두 연속 매체를 처리하는데 있어 필수적이다. VoD 시스템에서는 사용자들에게 영화의 재생뿐만 아니라 고속 전진이나 고속 후진과 같은 대화식 동작도 함께 제공할 수 있어야 하는데 대화식 동작이 야기하는 데이터 요구량의 변화는 디스크 대역폭, 통신망 대역폭, 메모리와 같은 시스템 자원의 관리를 어렵게 한다. VoD 시스템의 경우 기 저장된 비디오 데이터를 처리하기 때문에 데이터 블록에 대한 선반입이 가능하다. 본 논문에서는 가변 비트율의 비디오 데이터를 처리하는 VoD 서버에서 서버의 버퍼를 이용하여 데이터 블록들을 선반입함으로써 대화식 동작을 지원할 수 있는 버퍼 관리 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 버퍼 관리 기법은 모의실험 결과 수용 사용자 수에서 LRU 기법에 비해 약 34%의 성능 향상을 보였다.

핵심주제어 : VoD 시스템, 대화식 동작, 가변 비트율, 버퍼 관리

Abstract VoD(Video-on-Demand) servers have to provide timely processing guarantees for continuous media and reduce the storage and bandwidth requirements for continuous media. The compression techniques make the bit rates of compressed video data significantly variable from frame to frame. A VoD system should be able to provide the client with interactive operations such as fast forward and fast rewind in addition to normal playback of movie. However, interactive operations require additional resources such as storage space, disk bandwidth, memory and network bandwidth. In a stored video application such as VoD system, it is possible that *a priori* disk access patterns can be used to reserve the system resources in advance. In addition, clients of VoD server spend most of their time in playback mode and the period of time spent in interactive mode is relatively small. In this paper, I present the new buffer management scheme that provides efficient support for interactive operations in a VoD server using variable bit rate continuous media. Simulation results show that our strategy achieves 34% increase of the number of accepted clients over the LRU strategy.

Key Words : Video-on-Demand System, Interactive Operation, Variable Bit Rate, Buffer Management

* 대구대학교 컴퓨터 IT공학부 교수

1. 서론

컴퓨터 처리기의 성능 향상과 통신 기술의 발달로 인터넷 상에서 IPTV(Internet Protocol TeleVision), 화상 회의(video conferencing), VoIP(Voice over Internet Protocol), 주문형 비디오(Video-on-Demand, VoD) 등과 같은 실시간 응용들의 지원이 가능하게 되었다[1-3].

VoD 시스템의 경우 비디오 서버에 저장된 영화들 중에서 사용자가 원하는 영화를 골라 요청하게 되면 선택된 영화가 고속의 통신망을 통해 사용자 시스템에 전달되어 상영된다. VoD 시스템에서 영화를 구성하는 오디오와 비디오 데이터들은 다른 종류의 데이터에 비해 대용량이기 때문에 이들을 저장, 처리, 전송할 때에는 일반적으로 압축 기법을 사용한다. 오디오와 비디오의 압축 표준인 MPEG의 경우 데이터를 압축할 때 압축률을 높이기 위해 프레임 내 코딩(*intra-frame coding*)과 프레임 간 코딩(*inter-frame coding*)을 사용하고 있다. 이러한 압축 방법은 높은 압축률을 얻을 수 있지만 압축 대상이 되는 데이터 내용의 변화와 압축 기법의 특성으로 인하여 가변적인 크기의 (*Variable Bit Rate, VBR*) 프레임들이 생성된다.

VoD 시스템은 사용자에게 일방적으로 데이터를 전달되는 방송과 달리 데이터 전송 도중에 사용자의 요구를 처리할 수 있는 대화식 동작을 지원할 수 있어야 한다. 예를 들어 사용자들이 잘 이해하지 못하고 지나친 영화의 부분을 다시 본다거나, 전화를 받는 동안 잠시 영화 상영을 멈추는 작업들을 할 수 있어야 한다. 이와 같은 대화식 동작에 의한 데이터 요구량의 변화는 디스크 대역폭, 통신망 대역폭, 메모리와 같은 시스템 자원의 관리를 어렵게 한다. 한편, 대화식 동작은 일반 재생보다 더 많은 시스템 자원을 요구하는 반면에 상대적으로 짧은 시간동안 요구된다. VoD 시스템과 같은 기 저장된 데이터를 사용하는 멀티미디어 응용에서는 시간 당 처리해야 할 데이터량을 오프라인으로 미리 계산할 수 있기 때문에 이를 이용하여 데이터의 선반입(*prefetching*)이 가능하다. 따라서 대화식 동작을 요청하는 사용자가 있을 경우, 기존의 사용자들은 서버의 버퍼에 읽어 둔 데이터 블록으로 서비스하고 디스크 대역폭은 대화식 동작을 위해 사용할 수 있다.

본 논문에서는 가변 비트율의 비디오 데이터를 처

리하는 VoD 시스템에서 서버의 버퍼를 이용하여 시스템 자원의 활용률을 높이고 사용자들에게 자연스러운 대화식 동작을 지원할 수 있는 새로운 버퍼 관리 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구들에 대해 기술하였고 3장에서는 VoD 시스템의 구성에 대해 설명한다. 4장에서 VoD 시스템에서 대화식 동작을 지원하기 위한 버퍼 관리 기법을 제시하였고, 5장에서는 모의실험 결과를 통해 새로운 버퍼 관리 기법의 효율성을 입증하였으며, 6장에서 결론을 맺는다.

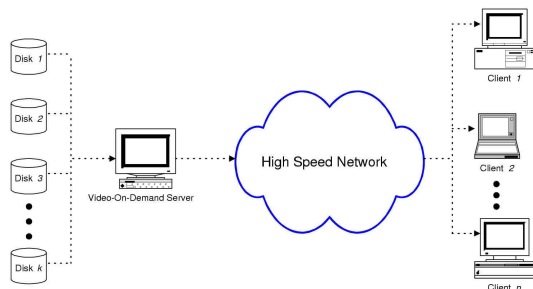
2. 관련 연구

대화식 동작 중 고속 전진(*fast forward*)과 고속 후진(*fast rewind*)을 지원하기 위한 많은 연구들이 있었는데, 이러한 연구들은 크게 정상 속도 보다 높은 비율로 데이터를 재생하는 방법과 몇 개의 프레임을 건너서 재생하는 방법 및 대화식 동작을 위해 만들어진 별도의 데이터를 재생하는 방법으로 나눌 수 있다[4-7]. 첫 번째 방법의 경우, n 배속의 고속 전진이나 고속 후진을 위해서는 정상 속도의 n 배의 프레임들이 필요하고 이를 위해서 디스크 대역폭, 메모리, 통신망 대역폭 등 추가의 자원들이 필요하다. 데이터의 실시간 처리를 보장하기 위해 자원 중 일부를 대화식 동작을 위해 따로 확보해 둘 수 있다. 두 번째 방법의 경우, n 배속 고속 전진은 매 n 번째 프레임을 재생함으로써 구현할 수 있다. 그러나 대부분의 VoD 시스템에서는 데이터에 대한 높은 압축률을 얻기 위해 MPEG의 경우처럼 프레임 내 압축 기법뿐 아니라 프레임 간 압축 기법도 함께 사용하고 있다. 따라서 n 번째 프레임을 재생하기 위해서는 프레임 간 의존성 때문에 다른 프레임도 함께 재생해야 할 수도 있다. 이 방법 역시 첫 번째 방법보다는 적지만 정상 속도의 재생보다는 많은 자원을 요구하게 된다. 세 번째 방법은 대화식 동작을 지원하기 위해 별도로 코딩된 데이터를 이용함으로써 디스크 대역폭과 통신망 대역폭은 줄일 수 있으나, 저장 공간이 추가로 필요하다. 본 논문이 클라이언트-서버 모델에서 서버 버퍼를 이용하는 데 비해, [7]에서는 P2P 기반의 VoD 시스템에서 VCR 기능을 지원하기 위한 방법을 제시하고 있다.

3. VoD 시스템

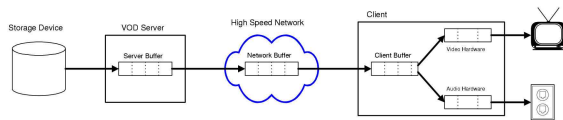
3.1 VoD 시스템 구성

VoD 시스템의 구조는 비디오 데이터를 저장하고 있는 비디오 서버와 영화를 관람하는 다수의 사용자 시스템 및 이들을 연결해 주는 통신망으로 구성된다. <그림 1>은 전형적인 VoD 시스템의 구조를 보여주고 있다.



<그림 1> VoD 시스템의 구조

비디오 서버에서 영화들은 저장 공간과 전송 시의 대역폭을 줄이기 위해 압축되어 디스크 배열과 같은 고속의 대용량 저장 장치에 저장된다. 비디오 서버와 다수의 사용자 시스템간의 연결은 고속의 통신망으로 이루어진다. 사용자 시스템은 고속의 통신망과 연결하기 위한 인터페이스 부분과 사용자로부터의 영화에 대한 조작 명령(영화의 선택, 재생, 고속 전진, 고속 후진 등)을 받아들이는 입력 장치와 영화를 보여 주기 위한 출력 장치, 압축된 비디오 데이터를 복원하는 복호화기 및 버퍼로 구성된다. <그림 2>는 VoD 시스템에서 데이터의 흐름을 보이고 있다.

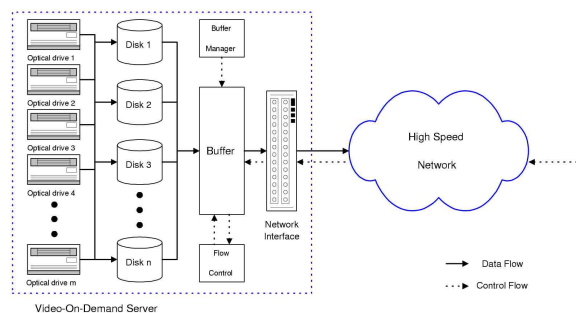


<그림 2> VoD 시스템의 데이터 흐름도

사용자가 요청한 데이터들은 VoD 시스템의 각 요소들을 거쳐 비디오 서버에서 사용자에게 전달된다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 VoD 시스템을 구성하

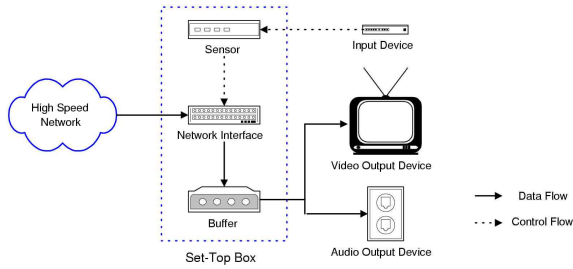
는 요소들은 내부에 버퍼를 가지고 있으며, 비디오 데이터는 서버의 저장 장치에서부터 사용자 시스템의 출력 장치까지 각 요소의 버퍼를 통해 전달된다. VoD 시스템에서 사용되는 버퍼들은 시스템의 특성 상 시스템 구성 요소 간의 버퍼링과 데이터의 캐싱과 함께 선반입을 위해 사용될 수 있으며, 버퍼가 사용되는 장소에 따라 각 역할의 비중은 달라질 수 있다. 통신망에서 사용되는 버퍼의 경우에는 캐싱 기능이 상대적으로 적을 수 있다.

<그림 3>은 VoD 시스템에서 비디오 서버의 구성을 보이고 있다. 비디오 서버에 저장된 연속 매체는 일반 저장 서버에서 사용하는 데이터들과는 달리 크기가 훨씬 큰데, 보통 한 편의 압축된 영화의 크기가 수 GB이다. 비디오 서버에서 영화를 저장하기 위해서는 수 TB의 저장 용량이 필요하다. 따라서 비디오 서버에서는 이들 영화들을 저장하기 위해 마그네틱 디스크 외에 테이프 저장 장치나 광 저장 장치와 같은 저속 대용량의 저장 장치를 함께 사용하는 경우가 많다. 사용자들이 자주 검색하는 영화들을 상위 저장 계층에 두고 검색 횟수가 적은 영화들을 하위 저장 공간을 뒤편으로써 저장 장치를 계층화하여 저장 비용을 줄일 수 있다.



<그림 3> VoD 서버의 구성

<그림 4>는 VoD 시스템에서 사용자 시스템의 구성 요소들을 보이고 있다. 사용자 요구는 입력 장치를 통해 비디오 서버에 전달되고 비디오 서버는 전달된 신호에 따라 영화의 선택, 재생, 고속 전진, 고속 후진, 정지 등의 동작을 수행하게 된다.

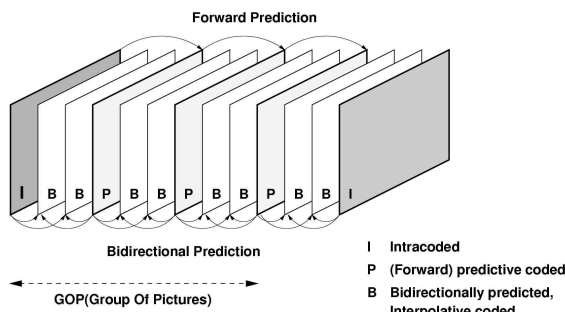


<그림 4> 사용자 시스템의 구성

3.2 압축 기법

멀티미디어 데이터 중에서 오디오나 비디오 데이터는 정해진 시간 내에 처리되어야 하는 시간적인 특성을 가지고 있기 때문에 연속 매체(continuous media)라고 한다. 연속 매체를 실시간 내에 처리하지 못할 경우 데이터의 전달 지연으로 인한 서비스 품질의 저하 현상이 발생하기 때문에 데이터 전달 경로 상에서 필요한 자원들(처리기, 디스크 대역폭, 메모리, 통신망 대역폭 등)을 예약함으로써 데이터의 실시간 처리를 보장할 수 있다. 연속 매체의 또 다른 특성은 데이터의 크기가 대용량이라는 점이다. 따라서 VoD 시스템에서 연속 매체를 처리할 때 압축 기법은 매우 중요한 역할을 한다. 압축 기법은 대용량 연속 매체를 저장하기 위해 필요한 저장 공간을 줄일 수 있고, 저속의 저장 장치가 연속 매체를 실시간에 전송할 때나 부족한 통신망 대역폭을 이용하여 연속 매체를 전송할 때 필요하다.

MPEG 기법의 경우 비디오 데이터를 압축할 때 압축률을 높이기 위해 프레임 내 코딩과 프레임 간 코딩을 사용함으로써 가변 비트율의 데이터를 생성한다. <그림 5>는 MPEG 기법으로 압축된 비디오 프레임들의 구성을 보이고 있다.



<그림 5> MPEG 비디오 프레임의 구성

프레임 내 코딩으로만 압축한 프레임을 I 프레임이라고 하며 임의 접근 및 고속 찾기와 같은 동작은 I 프레임으로 지원된다. I 프레임은 다른 프레임과 독립적으로 압축되어 단독으로 복원이 가능한 반면 다른 프레임에 대한 참조 없이 부호화하기 때문에 압축된 데이터의 크기가 크다. 프레임 간 코딩으로 압축된 프레임은 예측 방법에 따라 P 프레임과 B 프레임으로 나눈다. P 프레임은 가장 최근의 I 프레임이나 P 프레임을 참조하여 이전 프레임과 현재 프레임의 차이값만을 부호화하여 저장하기 때문에 I 프레임보다 크기가 작다. B 프레임은 과거 프레임과 미래 프레임을 참조하여 양방향 예측으로 압축하기 때문에 P 프레임보다 압축률이 좋다. MPEG 기법으로 압축된 비디오 데이터는 압축 대상이 되는 데이터 내용의 변화와 압축 기법의 특성으로 인하여 매우 가변적인 크기의 프레임들로 구성된다.

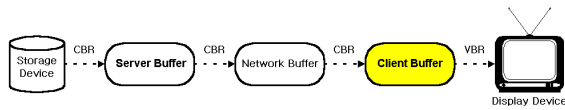
임의 접근이나 수정을 위해 독립적으로 복원이 가능한 프레임들의 집합을 MPEG에서는 GOP(Group Of Pictures)라 하며 I 프레임에서 다음 I 프레임 이전까지의 프레임들로 구성된다. 프레임 간 의존성 때문에 P 프레임은 이전의 I 프레임이나 P 프레임 없이는 복원이 불가능하다. 마찬가지로 B 프레임의 경우 관련되는 I 프레임과 P 프레임에 있어야 복원이 가능하다. 따라서 MPEG으로 압축된 비디오 데이터에 대해 매 n 번째 프레임을 재생함으로써 n 배속의 고속 전진을 지원할 때 관련된 I 프레임이나 P 프레임 없이 B 프레임만으로는 복원이 불가능하다. 특정 속도에 대해서 n 번째 프레임에 B 프레임이 속하지 않도록 MPEG 프레임들을 생성함으로써 대화식 동작을 지원할 수 있다. 그러나 이 방법은 미리 결정된 속도에 대해서만 대화식 동작이 가능하고 데이터를 전송하거나 처리할 때 더 많은 자원을 요구한다.

VoD 시스템은 사용자들에게 재생뿐만 아니라 고속 전진, 고속 후진, 일시 정지, 정지, 저속 전진, 저속 후진과 같은 대화식 동작도 함께 제공할 수 있어야 한다. 이들 동작 중 고속 전진과 고속 후진은 데이터 요구량이 재생 상태와 달라지지만 재생 시간에 비해 상대적으로 짧은 시간 동안 요구된다. 본 논문에서는 비디오 서버의 버퍼를 이용하여 사용자들에게 자연스러운 고속 전진과 고속 후진을 지원하는 방법을 제안한다. 고속 전진과 고속 후진은 시스템 자원에 대한 요

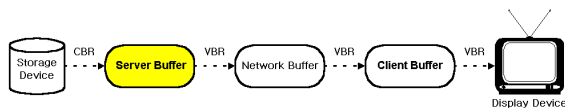
구 형태가 유사하기 때문에 고속 전진에 사용된 기법은 쉽게 고속 후진에도 적용할 수 있다.

3.3 VoD 시스템의 버퍼 관리 기법

VoD 시스템에서 고객들이 요구하는 데이터는 압축된 형태로 전송되며 따라서 시간 당 처리해야 할 데이터량도 가변적이다. 실시간 처리를 보장하기 위해 예약 기법을 사용하는 시스템에서 가변적인 데이터량은 자원의 이용률을 떨어뜨리게 된다. VoD 시스템의 경우, 데이터 참조 패턴이 비교적 순차적이기 때문에 데이터의 선반입을 이용할 경우 이러한 데이터의 가변성을 줄일 수 있다. 가변성을 줄이기 위한 선반입 기법은 비디오 서버의 버퍼를 이용하는 방법과 고객의 버퍼를 이용하는 방법으로 나누어 생각할 수 있다. 고객의 버퍼를 사용하는 대역폭 평활화(*bandwidth smoothing*) 기법의 경우 고객의 버퍼가 완충 역할을 하여 저장 장치와 통신망에서 고정적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 서버 버퍼를 이용할 경우 서버 버퍼가 완충 작용을 하여 저장 장치의 대역폭을 최대한 사용할 수 있다. <그림 6>과 <그림 7>은 각각 고객의 버퍼와 서버 버퍼를 이용한 데이터 전달 모델을 보여주고 있다.



<그림 6> 고객 버퍼를 이용한 데이터 전달



<그림 7> 서버 버퍼를 이용한 데이터 전달

VoD 시스템을 구성하는 요소들은 내부에 버퍼를 가지고 있으며, 비디오 데이터 스트림은 서버의 저장 장치에서부터 사용자 시스템의 출력 장치까지 각 요소의 버퍼를 통해 전달된다. 일반 운영체제에서 사용하고 있는 대부분의 버퍼 관리 기법들의 경우 과거의 데이터 블록에 대한 참조 패턴을 기반으로 지역성이나 확률 이론 등을 적용하여 미래의 참조 패턴을 예측한다. 그러나 VoD 시스템과 같이 데이터 블록에 대한 참조가 검색 위주이고 참조 패턴이 미리 알려진

응용에서는 보다 정확한 예측이 가능하다. 가장 늦게 참조될 데이터 블록을 교체하여 새로운 데이터 블록을 버퍼로 읽어 들임으로써 각 데이터 블록을 사용될 순서에 따라 버퍼에 유지할 수 있다.

비디오 데이터는 그 특성 상 정해진 시간 내에 목적지에 도착해야 하기 때문에 데이터의 전달 경로 상에 있는 자원들의 사용을 보장받아야 한다. 다수 사용자의 요구를 처리하는 VoD 시스템에서는 사용자들의 자원에 대한 요구를 예약함으로써 각 사용자들의 자원 사용을 보장할 수 있다. 가변 비트율의 비디오 데이터를 처리하기 위한 자원 예약은 시간을 일정한 단위의 슬롯(slot)으로 나누어 슬롯 단위로 자원의 예약 여부를 검사함으로써 가능하다. 슬롯은 다수의 프레임들로 구성되는데 슬롯의 크기가 클수록 비디오 서버는 데이터를 더 오랫동안 버퍼에 유지해야 하며, 슬롯의 크기가 작을수록 승인 제어를 위한 알고리즘의 복잡도가 증가한다.

본 논문의 버퍼 관리 기법은 미리 알려진 데이터 블록에 대한 참조 패턴을 이용하여, 압축된 비디오 데이터의 가변성을 줄이고 대화식 동작을 지원한다.

4. VoD 시스템에서 대화식 동작의 지원

VoD 서버가 현재 n 명의 사용자들을 수용하고 있고 각 사용자 C_i ($1 \leq i \leq n$)가 서로 다른 영화 M_i 를 검색하고 있을 때, 각 사용자 C_i 를 위해 슬롯 t 동안 제공되어야 할 데이터 블록의 수를 $C_i(t)$ 라 하면 슬롯 t 동안 모든 사용자들에 의해 소비되는 데이터 블록의 수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(t) = \sum_{i=0}^{n-1} C_i(t) \quad (1)$$

슬롯 t 의 시작 시점에 서버의 버퍼에 적재된 데이터 블록의 수를 $B(t)$ 라 하고, 슬롯 t 동안에 저장 장치로부터 서버의 버퍼로 읽혀지는 데이터 블록의 수를 $P(t)$ 라 하면 슬롯 $t-1$ 의 시작 시점에 서버의 버퍼에 적재된 데이터 블록의 수는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$B(t+1) = B(t) + P(t) - C(t), \quad B(0) = 0 \quad (2)$$

현재 수용하고 있는 사용자들을 위한 마지막 슬롯을 ω 라고 할 때 모든 사용자들의 요구를 지연 없이 서비스하기 위해서는 모든 슬롯동안 사용자들이 요구하는 데이터 블록들이 슬롯의 시작 시점에는 반드시 버퍼에 적재되어 있어야 한다. 이러한 요구 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B(t) \geq C(t) \quad \forall t \in \{1, 2, 3, \dots, \omega\} \quad (3)$$

본 논문에서 제안하는 버퍼 관리 기법은 서버의 버퍼가 가변 비트율의 비디오 데이터 요구에 대해서 완충 작용을 함으로써 저장 장치로부터 데이터 블록을 최대한 선반입하여 서버의 버퍼에 적재하게 된다. 디스크 대역폭을 D_{min} 이라 하고 서버의 총 버퍼수를 B_{max} 이라 하면 슬롯 t 동안에 저장 장치로부터 서버의 버퍼로 최대한 읽을 수 있는 데이터 블록의 수는 다음과 같다.

$$P_{max}(t) = \min(B_{max} - B(t), D_{min}) \quad (4)$$

$P_{max}(t)$ 는 서버의 버퍼가 허용하는 한도 내에서 최대의 디스크 대역폭으로 데이터 블록을 읽어들이게 된다. 이 때 선반입되는 데이터 블록들도 각 데이터 블록들이 참조되는 순서대로 읽혀진다. 또, 식 (4)의 $P_{max}(t)$ 를 이용하여 각 슬롯 t 에 대해 버퍼에 적재 가능한 최대 데이터 블록 수 $B_{max}(t)$ 는 다음의 재귀 수식으로 나타낼 수 있다.

$$B_{max}(t+1) = B_{max}(t) + P_{max}(t) - C(t), \quad B_{max}(0) = 0 \quad (5)$$

슬롯 t 의 시작 시점에 버퍼에 적재된 데이터 블록들은 슬롯 t 동안 사용될 데이터 블록들과 슬롯 t 이후에 사용될 데이터 블록들로 구성된다. 슬롯 t 의 시작 시점에 서버의 버퍼에 선반입된 블록의 수는 다음과 같다.

$$\Theta(t) = B_{max}(t) - C(t) \quad (6)$$

고속 전진과 고속 후진과 같은 대화식 동작은 재생

보다 더 많은 시스템 자원을 요구하는 반면에 상대적으로 짧은 시간동안 요구되며 일반적으로 특정 시점에 많은 사용자들이 동시에 대화식 동작을 요구하지 않는다. 사용자 C_j ($1 \leq j \leq n$)가 슬롯 $\tau-1$ 에 대화식 동작을 요구하고 그 서비스 기간이 δ 일 때 대화식 동작을 지원하기 위해 추가로 요구되는 데이터 블록의 수를 $\Gamma_j(\tau, \delta)$ 라고 한다면, 본 논문에서 제안하는 버퍼 관리 기법을 사용할 경우 다음 식이 만족될 경우 사용자 C_j 의 대화식 요구는 수용할 수 있다.

$$\theta(\tau) \geq \Gamma_j(\tau, \delta) \quad (7)$$

$\Gamma_j(\tau, \delta)$ 는 비디오 데이터에 대한 코딩 기법과 검색 기법에 따라 결정된다. 세그먼트 기법을 이용하여 대화식 동작을 제공할 경우 $\Gamma_j(\tau, \delta)$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

GOP를 구성하는 프레임의 개수가 ψ 이고 사용자 C_j 가 슬롯 $\tau-1$ 에서 n 배속의 고속 전진을 요구했을 경우 새로운 시작 프레임 α 는 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \lceil \frac{\tau}{\psi} \rceil \times \psi \quad (8)$$

F_{ij} 를 사용자 C_j 를 위한 i 번째 프레임의 크기라 하면 정상적인 재생일 경우 슬롯 τ 에서 δ 동안 필요한 데이터 요구량 $O_j(\tau, \delta)$ 은 다음과 같다.

$$O_j(\tau, \delta) = \sum_{i=0}^{\delta-1} F_{(\alpha+i)j} \quad (9)$$

세그먼트 기법을 사용할 경우 n 배속의 고속 전진은 독립적으로 복원이 가능한 n 번째 세그먼트들을 재생한다. 슬롯 τ 에서부터 δ 동안 n 배속의 고속 전진을 위해 필요한 데이터 요구량 $P_j(\tau, \delta)$ 은 다음과 같다.

$$P_j(\tau, \delta) = \sum_{k=0}^{\delta/\psi-1} \sum_{i=0}^{1/\psi-1} F_{(\alpha+i+k*\psi)j} \quad (10)$$

따라서 세그먼트 기법을 사용했을 때 사용자 C_j 가 슬롯 $\tau-1$ 에 서비스 기간이 δ 인 대화식 동작을 요구했을 때 대화식 요구를 수용하기 위한 조건은 다음과 같다.

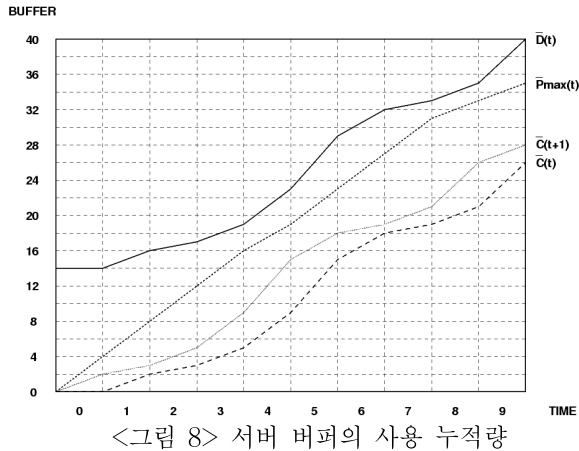
$$\theta(\tau) \geq P_j(\tau, \delta) - O_j(\tau, \delta) \quad (11)$$

<그림 8>은 디스크 대역폭 D_{min} 이 4이고 총 버퍼수 B_{max} 이 14이며 $C(t)$ 의 값이 2, 1, 2, 4, 6, 3, 1, 2, 5, 2와 같이 변할 때 서버 버퍼의 사용을 누적량으로 나타내고 있으며, $\bar{C}(t)$ 와 $\bar{D}(t)$ 및 $\bar{P}_{max}(t)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{C}(t) = \sum_{i=0}^{t-1} C(i), \quad t \geq 1, \bar{C}(0) = 0 \quad (12)$$

$$\bar{D}(t) = \sum_{i=0}^{t-1} C(i) + B_{max}, \quad t \geq 1, \bar{D}(0) = 0 \quad (13)$$

$$\bar{P}_{max}(t) = \sum_{i=0}^{t-1} P_{max}(i), \quad t \geq 1, \bar{P}_{max}(0) = 0 \quad (14)$$



<그림 8>에서 곡선 $\bar{C}(t)$ 와 곡선 $\bar{D}(t)$ 사이의 간격이 서버 버퍼의 크기를 나타낸다. 슬롯 t 에서 서버의 버퍼는 $\bar{C}(t+1) - \bar{C}(t)$ 만큼의 데이터 블록을 소비하며 $P_{max}(t)$ 만큼의 데이터 블록을 읽어들이는다. 슬롯 t 의 시작 시점에 서버의 버퍼에 선반입된 블록의 수 $\theta(t)$ 는 두 곡선 $\bar{P}_{max}(t)$ 과 $\bar{C}(t+1)$ 사이의 간격으로 표시된다.

5. 성능 평가

본 장에서는 모의실험을 통해 논문에서 제안한 버퍼 관리 기법과 대부분의 운영체제에서 사용하는 LR

U 버퍼 관리 기법을 비교하였다. 성능의 비교 항목으로는 VoD 서버가 수용한 사용자 수와 수용된 사용자가 요구한 대화식 동작의 수용률을 사용하였다. 일정한 디스크 대역폭에 대해 비디오 서버의 버퍼 크기를 달리 하면서 각각의 버퍼 관리 기법의 성능을 측정하였다. 본 논문의 모의실험에서는 다음 사항들을 가정하였다.

- VoD 시스템에 도착하는 사용자 요구들의 도착 분포는 포아송 분포(poisson distribution)를 따른다.
- 승인 제어를 위한 계산 시간은 영화 상영 시간에 비해 매우 짧기 때문에 한 슬롯 안에 끝남을 가정한다.
- VoD 서버와 연결된 통신망은 가변 비트율의 데이터를 전송할 수 있음을 가정한다. 따라서 슬롯 t 에 소비되는 버퍼들은 슬롯 $t+1$ 에는 사용 가능하다.

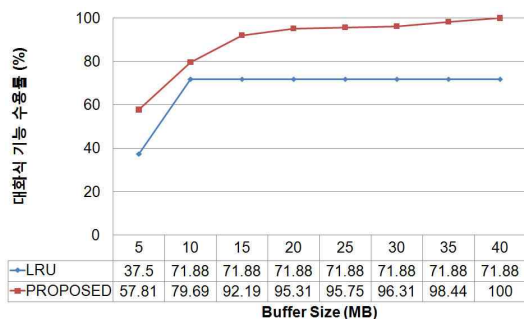
모의실험에 사용된 비디오 데이터들은 영화(dino, mrbean, lambs, starwars, terminator), 스포츠(atp, race, soccerWM), 뉴스(news, talk1, talk2), 만화 영화(asterix, simpsons) 등 다양한 종류로 구성되었다[8]. 각 비디오 데이터들은 IBBPBBPBBPBB의 GOP 패턴을 가지며 초당 24 프레임이 상영된다. <표 1>에서는 모의실험에서 사용한 비디오 데이터들의 여러 특성들을 보여 주고 있다.

<표 1> 비디오 스트림의 특성

비디오 스트림	압축률	최소 (bits)	최대 (bits)	평균 (bits)	최대/평균
asterix	119	30576	1079040	268212	4.02
atp	121	26528	933176	262705	3.55
dino	203	49808	644208	156954	4.10
lambs	363	26656	457032	87747	5.21
mrbean	150	58400	862432	211786	4.07
mtv	134	40120	1276504	295280	4.32
news	173	20440	1128792	184311	6.12
race	86	120840	1332496	369026	3.61
simpsons	143	27680	860048	222929	3.86
soccerWM	106	82688	1153008	301345	3.83
starwars	130	18712	442792	111770	3.96
talk1	183	73136	539240	174459	3.09
talk2	148	91672	673096	215001	3.13
terminator	243	26632	430088	130870	3.29

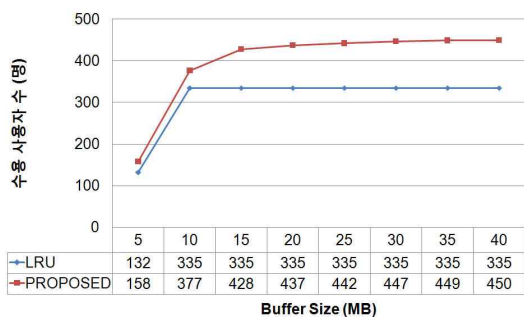
<표 1>에서 최소, 최대, 평균 항목은 각각 압축된 비디오 스트림의 GOP에 대한 최소값, 최대값, 평균값을 비트 단위로 보여주고 있으며, 압축률은 압축되기 이전의 데이터 크기에 대한 압축 데이터의 크기의 비를 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 각 비디오 데이터들은 종류에 따라 다른 압축률과 가변성을 가진다.

<그림 9>는 LRU 기법과 본 논문에서 제안하는 버퍼 관리 기법을 사용하였을 때 비디오 서버 버퍼의 크기 변화에 따른 대화식 동작의 수용률을 보여주고 있다. 실험에서는 수용된 사용자들은 영화 재생 시간의 10% 동안 고속 전진을 사용하였다. <그림 9>에서 알 수 있듯이 서버의 버퍼가 클수록 선반입한 데이터 블록의 수는 증가하며 이는 더 많은 대화식 동작을 수용할 수 있다.



<그림 9> 버퍼 크기에 따른 수용률

<그림 10>은 비디오 서버에 포아송 분포를 따르는 사용자 500명이 평균 30초의 간격으로 시스템에 도착할 때 버퍼의 크기 변화에 따른 수용 사용자 수의 변화를 보이고 있다. 수용 사용자 수는 버퍼의 크기가 20MB 이상에서는 거의 증가하지 않는데 그 이유는 디스크 대역폭의 한계로 버퍼의 크기가 증가해도 더 이상의 데이터 블록을 읽어들이지 못하기 때문이다.



<그림 10> 버퍼 크기에 따른 수용 사용자수

6. 결 론

VoD 시스템과 같이 대용량의 데이터를 취급하면서 데이터에 대한 참조가 검색 위주인 시스템에서는 기존의 운영체제에서 사용하던 버퍼 관리 기법보다 효과적인 버퍼 관리가 가능하다. 본 논문에서는 가변 비트율의 비디오 데이터를 처리하는 VoD 서버에서 미리 알 수 있는 데이터 블록에 대한 참조 패턴을 이용하여 데이터 블록을 선반입함으로써 고속 전진이나 고속 후진과 같은 대화식 동작을 지원하는 버퍼 관리 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 버퍼 관리 기법은 모의실험 결과 대화식 동작 수용률에서 LRU 기법에 비해 약 39%의 성능 향상을 보이고 있다. 또한 수용 사용자 수에서도 약 34% 더 많은 사용자를 수용할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Lie, and J. Klaue, "Evalvid-RA: Trace Driven Simulation of Rate Adaptive MPEG-4 VBR Video," *Multimedia Systems, Volume 14, Number 1*, 13. November 2007.
- [2] Palumbo, P.A.: Broadband streaming video: viewer metrics and market growth analysis 2000-2004. Accustream Research, Technical Report, 2004.
- [3] UNINETT: Digital brytningstid uninett 10ar. UNINETT, Technical Report, 2003.
- [4] C. W. Lin, J. Zhou, J. Youn, and M. T. Sun, "MPEG video streaming with VCR functionality," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, no. 3, pp. 415-425, March. 2001.
- [5] M.-S. Chen, D. D. Kandlur, "Stream Conversion to Support Interactive Video Playout," *IEEE MultiMedia*, Vol. 3, No. 2, pp. 51-58, Summer 1996.
- [6] Wu-chi Feng, F. Jahanian and S. Sechrest. "Providing VCR Functionality in a Constant Quality Video-On-Demand Transportation

Service," IEEE Multimedia 1996, pages 127-135, June 1996.

- [7] Xin Wang, Changyi Zheng, Zhenyuan Zhang, Hong Lu, Xiangyang Xue, "The design of video segmentation-aided VCR support for P2P VoD systems", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 2., pp. 531-537, May 2008.
- [8] Oliver Rose. Statistical properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems, Technical Report No. 101, University of Wuerzburg, February 1995.



김 순 철 (Soon-Cheol Kim)

- 정회원
- 1990년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1998년 9월~1999년 2월 : 서울대학교 컴퓨터신기술연구소 특별연구원
- 2005년 3월~2006년 2월 : University of Massachusetts Amherst 객원교수
- 1999년 3월~현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 부교수
- 관심분야 : 운영체제, 멀티미디어시스템

논문 접수일 : 2010년 03월 11일

1차수정완료일 : 2010년 03월 28일

2차수정완료일 : 2010년 03월 30일

게재확정일 : 2010년 03월 30일