

DVD 쥬크박스 기반의 계층적 VOD 서버 구성을 위한 파이프라인 로딩 기법 (A Pipelined Loading Mechanism for a Hierarchical VOD Server Based on DVD Jukebox)

최 황 규*
(Hwang-Kyu Choi)

요 약

최근 관심을 끌고 있는 VOD 시스템을 현실적으로 실현 가능하게 하기 위해서는 대용량 멀티미디어 정보를 장기적으로 저장할 수 있도록 저가이면서 저장 용량이 큰 3차 저장장치를 사용하는 계층적 VOD 서버를 필요로 한다. 본 논문은 이러한 계층적 VOD 서버를 저가의 대용량 DVD 쥬크박스를 온라인 저장장치로 사용하여 구성하고, 여러 개의 스트림들을 적당한 시간을 주기로 드라이브들을 교대로 활용하게 함으로써 서비스 스트림을 최대화함으로써 효율을 높일 수 있다. 그러나 DVD 쥬크박스 내에서 하나의 스트림이 저장된 DVD-ROM의 교환은 상대적으로 긴 시간을 요구하므로 본 논문에서는 DVD 쥬크박스를 기반으로 한 VOD 서버에서 DVD-ROM의 교환시간을 은폐하면서 효율적인 데이터 전송을 지원 할 수 있는 파이프라인 로딩 기법을 제안한다. 또한 디스크를 캐쉬로 사용하여 스트림의 초기 일부분을 미리 디스크 캐쉬에 적재하여 놓음으로써 최대 허용 스트림 수를 증가시킬 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 기법들은 시뮬레이션 성능분석을 통하여 파이프라인 상황에서 사용하는 드라이브 수에 비하여 최대 허용 스트림 수가 크게 증가될 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

In order to realize a practical VOD system, it is necessary for a high-capacity and cost-effective hierarchical VOD server based on tertiary storages such as DVD jukebox. In such a system, it is possible to transfer multiple streams to users by alternatively swapping DVDs using the fixed number of drives. But it takes a long time for loading DVD to a drive. In this paper, we propose a primitive pipelined loading mechanism for hiding the loading time to swap DVDs in a hierarchical VOD server based on DVD jukebox. We also propose a enhanced pipelined loading mechanism for increasing the maximum admittable streams with the fixed number of drives. The enhanced mechanism caches the initial segment of each stream on a disk storage allowing faster data transfer. The performance analysis shows that the proposed mechanisms can admit the maximum allowed stream capacity under the fixed number of disk drives.

* 정회원 : 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수

논문접수 : 2002. 2. 20.

심사완료 : 2002. 3. 14.

본 논문은 1999년 7월부터 2000년 6월까지 수행된 정보통신부 지원 대학기초연구지원사업의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임

1. 서론

최근 컴퓨터 하드웨어, 저장 장치 및 통신 기술의 비약적인 발전으로 주문형 비디오(VOD : Video-On-Demand) 분야가 국내외에서 많은 관심을 끌고 있다[4][5][14]. VOD 시스템은 비디오, 오디오, 이미지, 텍스트 등의 멀티미디어 데이터를 서버에 압축 저장하고, 사용자의 요청에 따라 통신망을 통하여 서비스를 제공하는 양방향의 대화형 시스템이다. 한편 VOD 시스템에서의 멀티미디어 데이터는 특성상 시간에 맞추어 전달될 때 그 의미가 있는 미디어 개체로 구성되기 때문에 시간적으로 연속적이라고 할 수 있다. 이러한 연속매체(CM : Continuous Media)를 지원하기 위한 멀티미디어 저장 서버는 테라 바이트(tera bytes) 수준의 대용량 멀티미디어 데이터의 실시간 검색과 대용량의 저장장치를 요구한다[1][15].

예를 들어 MPEG-1의 평균 소비율 1.5Mbps를 고려할 때 2시간 분량의 영화를 저장하기 위해서는 약 1.5GB 정도의 저장 공간을 필요로 한다. 대부분의 VOD 서버는 사용자의 요구에 대한 빠른 응답시간을 보장하기 위하여 비디오 데이터 저장 매체로 하드디스크를 사용하지만, 많은 비디오 데이터의 저장이 요구되는 대용량 VOD 서버에서는 데이터 저장을 위해 사용하는 디스크의 수가 늘어나게 되어 이들의 관리 및 데이터에 대한 신뢰성 보장에 대한 처리가 복잡해진다. 이러한 환경에서 디스크 입출력 전송률을 향상시키기 위하여 디스크 스트라이핑(disk striping)과 RAID(Redundant Arrays of Inexpensive Disks)를 이용한 기술이 적용되었고[10][6][2], 일정한 속도로 데이터를 전송하기 위해 디스크 탐색시간 연산을 최적화시키기 위한 여러 가지 실시간 디스크 스케줄링 기법이 제안되었다[18].

그러나 현재까지 많이 연구되고 있는 디스크 배열(disk array)을 이용한 VOD 서버는 성능 면에서는 멀티미디어 응용에 적합하다고 할 수 있으나, 비용 면에서 대규모 서버를 위한 저장장치 전체를 디스크로 구성하는 것은 비현실적일 뿐만 아니라 저장 용량과 대역폭에도 한계가 있다. 따라서 현실적으로 적용 가능한 VOD 시스템의 구성을 위해서는 대용량의 멀티미디어 정보를 장기적으로 저장할 수 있도록 저가이면서 저장 용량이 큰 3차 저장장치(tertiary

storage)를 사용하는 계층적 구조를 갖는 VOD 서버(hierarchical VOD server)가 필요하다 [2,3][6-13][16,17].

지금까지 연구된 계층적 VOD 서버에서 주로 사용한 3차 저장장치로써는 자기 테이프 라이브러리(magnetic tape library)나 광디스크 쥬크박스(optical disk jukebox) 등이 있다. 그러나 이들은 디스크에 비하여 액세스 속도가 너무 느려 사용자의 실시간 서비스 요구를 충족시키기 어려우므로 이에 대한 특별한 관리 전략이 요구된다. 즉, 저장 용량이 매우 큰 테이프나 광디스크를 연속매체를 위한 저장장치로 사용하는 것이 현실적이지만, 이들 저장장치는 탐색시간(seek time)과 로딩시간(loading time)이 길어서 접근 시간이 느리고 불규칙할 뿐 아니라 데이터 전송속도가 낮아서 연속매체 데이터의 재생에는 부적합하다. 따라서 대부분의 시스템들은 성능이 좋은 자기 디스크를 온라인(on-line) 저장장치로 사용하고 비용 면에서 효과적인 3차 저장장치를 아카이브(archive) 서버 등의 오프라인(off-line) 저장장치로 활용하는 구조를 가진다.

한편, 광디스크 시장에서 DVD(Digital Versatile Disk)가 관심을 끌면서 큰 각광을 받고 있다. DVD는 기존의 CD와 크기와 모양이 유사하지만 저장 용량에서 CD 보다 7배정도 큰 4.7GB에서 최대 17GB 분량의 방대한 디지털 멀티미디어 데이터를 저장 재생할 수 있기 때문에 CD를 대체할 대표적인 기억장치로 자리잡고 있다. 저장 용량 면에서 기존의 CD는 1.2Mbps로 압축된 MPEG1 영상 데이터를 74분 정도 저장할 수 있으나, DVD는 4.7Mbps로 압축된 MPEG2 영상 데이터를 최대 242분까지 저장할 수 있다. DVD는 세계시장에서 97년 79만 5천대를 시작으로 매년 70%이상 증가하여 2002년에는 1152만대에 달할 것으로 예측하고 있다. DVD는 초기에 VCR을 대체할 디지털 비디오 플레이어를 목표로 개발되었으나 현재는 DVD-ROM 형태의 컴퓨터 대용량 저장장치로 널리 활용될 시점에 이르렀으며, 기술의 발전 추세가 매우 빨리 진행되고 있어 향후 저장 용량과 전송속도가 더욱 크게 개선될 것으로 예상된다. 기존의 3차 저장장치와 비교하여 DVD-ROM은 저장 용량 면에서는 테이프 저장장치와 비교될 만큼 대용량이며 랜덤 액세스가 가능한 장점을 가진다. 또한 DVD-ROM 쥬크박스 형태로

구성할 경우 기존의 광 디스크에 비하여 물리적 크기가 작아 로딩시간이 짧아지며 데이터 전송률과 탐색시간 또한 기존의 광디스크에 비하여 매우 우수하다.

따라서 본 논문에서는 DVD의 이러한 장점들을 활용하여 지금까지 연구되어온 디스크 기반의 온라인 연속 매체 저장 장치의 한계를 극복하고, 기존의 3차 저장장치에 비해 용량이나 성능 면에서 유리한 DVD-ROM을 기반으로 하는 계층적 VOD 서버의 구성에 관하여 연구하고자 한다. 계층적 VOD 서버는 여러 개의 드라이브를 갖는 DVD 주크박스를 저장장치로 사용한다. 이러한 구조에서는 여러 개의 스트림들이 적당한 시간을 주기로 드라이브들을 교대로 활용하게 함으로써 서비스 스트림을 최대화함으로써 효율을 높일 수 있다. 그러나 DVD 주크박스 내에서 하나의 스트림이 저장된 DVD-ROM의 교환은 상대적으로 긴 시간을 요구한다. 이에 따라 본 논문에서는 DVD 주크박스를 기반으로 한 VOD 서버에서 DVD-ROM의 교환시간을 은폐하면서 효율적인 데이터 전송을 지원 할 수 있는 파이프라인 로딩 기법을 제안한다. 또한 디스크를 캐쉬로 사용하여 스트림의 초기 일부분을 미리 디스크 캐쉬에 적재하여 놓음으로써 최대 허용 스트림 수를 증가시킬 수 있는 기법을 제안한다. 제안된 기법들은 시뮬레이션 성능분석을 통하여 파이프라인 상황하에서 사용하는 드라이브 수에 비하여 최대 허용 스트림 수가 크게 증가될 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 DVD의 규격과 DVD 주크박스를 저장매체로 하는 VOD 서버 구성에 대해서 개괄적으로 설명한다. 3장에서는 DVD 주크박스를 기반으로 한 계층적 VOD 서버에서의 파이프라인 로딩 기법에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안된 파이프라인 로딩 기법의 성능 분석에 대하여 설명하며, 마지막 5장은 결론과 향후 연구에 대하여 기술한다.

2. DVD 규격 및 계층적 VOD 서버 구조

2.1 DVD 규격

DVD(Digital Versatile Disk)는 대용량의 데이터를 필요로 하는 이미지, 비디오 및 오디오 등의 멀티미디어 데이터를 저장·재생하기 위한 디지털 저장 매체로써 디지털 영상의 고품질화 및 고기능화 요구에 따라 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 최근까지 멀티미디어 대중화에 가장 큰 기여를 한 콤팩트 디스크(CD: Compact Disk)는 최초 제품에 비해 재생속도에서 많은 발전을 계속하고 있지만 저장용량의 한계라는 근본적인 문제를 가지고 있다. 즉, CD는 재생속도의 지속적인 증대에도 불구하고 저장용량의 한계로 인하여 더 높은 품질을 요구하는 사용자의 요구를 충족시킬 수 없었고, DVD는 이러한 문제점들을 동시에 해결하기 위한 대안으로 등장하게 되었다.

DVD의 필요성은 초기에 MPEG2 영상부호화를 사용하여 단면에 135분 이상의 디지털 영상을 기존 LD(Laser Disk)보다 높은 화질로 저장하기 위한 요구조건으로부터 제기되었다. 또한 5.1 채널 디지털 서라운드를 지원하는 높은 음질, Multi-Language/Angle/Story 등의 다양한 기능 지원을 위해서는 높은 재생속도뿐만 아니라 저장용량의 획기적인 증대가 필요하게 되었다. DVD는 단순히 기존의 LD, VCR과 같은 가전제품의 대체로서 뿐만 아니라 컴퓨터 주변기기로서의 자리 매김을 목표로 하고 있으며, DVD의 약자가 Digital Video Disk에서 Digital Versatile Disk로 변경된 것도 이러한 맥락으로 이해할 수 있을 것이다. 결국 DVD의 개발 및 보급으로 인해 컴퓨터와 TV 사이의 구별은 시간이 지날수록 더욱 모호해질 것이며, 기록/재생이 동시에 가능한 DVD-RAM의 도입은 이러한 변화를 더욱 가속화시키게 될 전망이다. 이러한 멀티미디어 저장 매체로서의 DVD의 주요 요구조건을 정리하면 다음과 같다.

- 단면 당 135분 이상의 고품질 비디오 저장 용량
- 최소 3 언어 및 4 서브타이틀 지원

- Dolby AC-3(5.1 channel) 등의 고품질 오디오 지원
- 16:9 횡장, 레터박스 등의 Multi-Aspect ratio 지원
- Multi-Language/Angle/Story 등의 다양한 기능 지원
- Parental lock-out 기능
- 기존 CD와의 호환성

이러한 특성을 갖는 DVD의 규격을 기존의 CD와 비교하면 <표 1>과 같다. 한편, 기존의 3차 저장장치와 비교하여 DVD-ROM은 저장용량 면에서는 테이프 저장 치와 비교될 만큼 대용량이며 랜덤 액세스(random access)가 가능한 장점을 가진다.

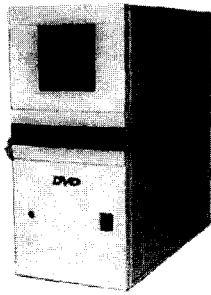
또한, DVD-ROM을 주크박스(jukebox) 형태로 구성할 경우 기존의 광디스크(optical disk)에 비하여 물리적 크기가 작아 로딩 시간(loading time)이 짧아지며 데이터 전송률(data transfer rate)과 탐색시간(seek time) 또한 기존의 광디스크에 비하여 매우 우수하다. 이러한 기존 3차 저장장치와 DVD-ROM을 사용한 주크박스의 규격 비교는 <표 2>에서 보이며, [그림 1]은 상용 DVD 주크박스의 모양과 규격의 한 예를 나타낸 것이다.

<표 1> CD와 DVD의 차이점
<Table 1> Comparison of CD and DVD specifications

	DVD		CD	
Disc Diameter	120mm		120mm	
Disc Thickness	1.2mm		1.2mm	
Laser Wavelength	Single		Double(0.6×2)	
Track Pitch	0.74 um		1.6 um	
Reference Speed	4.0M/sec. CLV		1.2M/sec. CLV	
Data Transfer rate	3,366 - 8,550 KB/sec		2,069 - 4,800 KB/sec	
Shortest pit/land length	0.4 um		0.83 um	
Data Layers	1 or 2		1	
Data Capacity	single 1층	4.7GB	Mode 1	742 MB
	single 2층	8.5GB		
	dual 1층	9.4GB	Mode 2	650 MB
	dual 2층	17GB		

<표 2> 기존의 3차 저장장치와 DVD-ROM 규격 비교
<Table 2> Comparison of DVD-ROM and other tertiary storage specifications

미디어	전송률	탐색시간	전체용량
하드 디스크	16.6 MB/sec	13ms	2 GB
DVD 주크박스	8.55 MB/sec	100-150ms	5 TB
CD 주크박스	4.8 MB/sec	80ms-150ms	100 GB
테이프 주크박스	1.2 MB/sec	20sec-1.5min	10 TB



	Performance
Drive	DVD-ROM 4X or 6X speed
Drive capacity	4.7 GByte Read-Only
Drive data transfer rate	6480 KB/sec
Drive access time	130 ms (typical)
Drive data buffer	512 KB
Discs	75 Discs
Jukebox capacity	352 GB
Average exchange	2 sec
Interface	IDE (ATAPI)
Disc format	DVD, CD-ROM, CD-DA

[그림 1] 상용 DVD Jukebox Model의 한 예
 [Fig. 1] An example of a commercial DVD jukebox

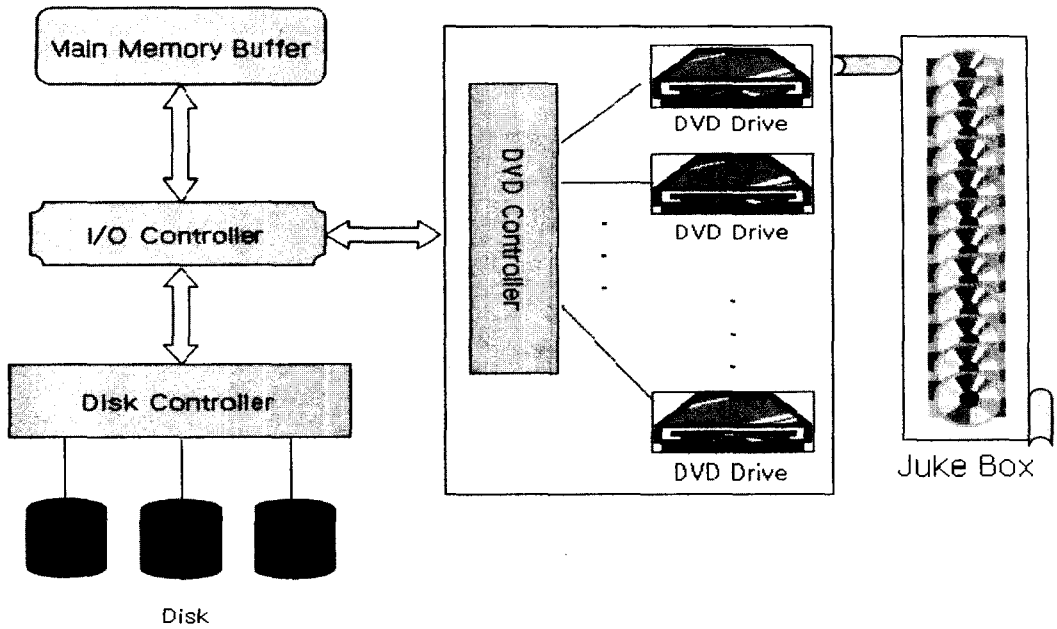
2.2 DVD 기반의 계층적 VOD 서버 구성

디스크를 기반으로 하는 VOD 서버는 모든 멀티미디어 데이터가 디스크에 저장되므로 대용량 VOD 시스템을 구성하기 위해서는 많은 양의 디스크를 필요하므로 비교적 높은 구성 가격을 갖는다. 또한, 하드디스크의 잦은 에러에 대한 대비와 높은 입출력 처리량을 얻기 위하여 RAID 기법을 이용할 경우 에러에 대한 복구 시간이 비교적 길며, 복구처리 시 시스템의 프로세싱 능력에 많은 영향을 줄 수 있어 실시간 처리를 완벽하게 보장할 수 없다. 그러므로 실시간 처리를 위해서는 시스템의 처리 능력 증 복구를 위한 능력을 항상 예약해 두어야 한다.

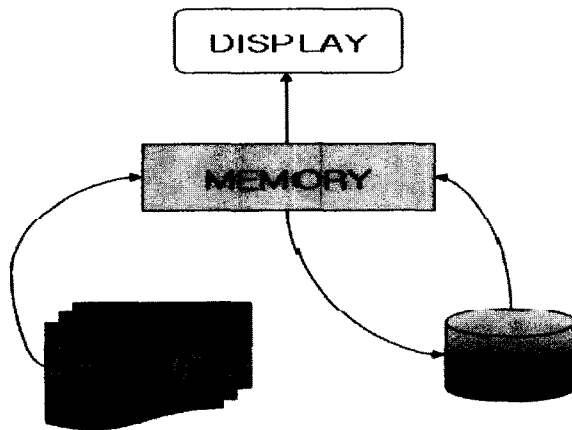
본 연구에서는 VOD 시스템의 방대한 멀티미디어 데이터를 저장하는 주 저장매체로써 디스크 대신 대용량의 데이터를 안정적으로 저장할 수 있는 DVD-ROM을 기반으로 한다. DVD-ROM은 여러 개의 DVD 드라이브에 기계적인 팔(robotic arm)을 이용하여 자동으로 교환이 가능한 추크박스 형태로 구성된다. 이러한 DVD 추크박스를 기반으로 하는 계층적 VOD 서버의 구조는 [그림 2]와 같다.

이러한 구조하에서 여러 개의 스트림들이 적당한 시간을 주기로 드라이브들을 교대로 활용하게 함으로써 서비스 스트림을 최대화함으로써 효율을 높일 수 있다. 그러나 DVD 추크박스 내에서 하나의 스트림이 저장된 DVD-ROM의 교환은 상대적으로 긴 시간을 요구하므로 DVD 추크박스를 기반으로 하는 VOD 서버에서는 DVD-ROM의 교환시간을 은폐하면서 효율적인 데이터 전송을 지원 할 수 있는 파이프라인 로딩 기법을 필요로 한다.

또한, 이러한 구조에서 추크박스를 구성하는 DVD 드라이브의 수보다 더 많은 사용자를 수용하기 위해서는 기본적인 파이프라인 로딩 기법에 추가하여 디스크를 캐쉬로 사용하여 스트림의 초기 일부분을 미리 디스크 캐쉬에 적재하여 놓음으로써 드라이브 수보다 더 큰 사용자를 수용할 수 방안이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 [그림 2]와 [그림 3]에 나타난 DVD를 온라인 저장장치로 사용한 계층적 VOD 서버에서의 파이프라인 로딩 기법에 대한 새로운 알고리즘을 제안한다.



[그림 2] DVD 기반의 계층적 VOD 서버 구조
 [Fig. 2] Structure of a DVD based hierarchical VOD server



[그림 3] 계층적 VOD 서버의 논리적 구조
 [Fig. 3] Logical structure of a hierarchical VOD server

3. 교환 은혜를 위한 파이프라인 로딩 기법

DVD-ROM은 CD-ROM과 비교할 때 저장 용량이 대용량으로 하나의 DVD-ROM에 여러 개의 연속 매체 스트림의 저장이 가능하며 또한 높은 대역폭을 제공한다. 이러한 특성은 DVD-ROM을 VOD 서버의 온라인 저장장치로 활용 가능하게 하며, 또한 이들 드라이브 여러 개를 동시에 사용하면 다수 사용자에 대한 복수의 스트림 제공도 가능하다. 그러나 DVD-ROM은 디스크에 비하여 긴 탐색시간을 가지며 DVD-ROM 교환에 긴 시간을 요구한다. 따라서 이들 시간을 은혜하여 연속 매체 스트림의 실시간 검색을 보장하기 위해서는 새로운 데이터 블록 배치 및 디스크 캐싱 전략, 복수의 DVD-ROM 드라이브들에 대한 스케줄링 기법 등이 요구된다.

다수의 DVD-ROM 드라이브들을 온라인 저장장치로 사용하여 VOD 서버를 구성할 때 여러 개의 스트림들이 적당한 시간을 주기로 드라이브들을 교대로 활용하여 서비스 스트림을 최대화함으로써 효율을 높일 수 있다. 이때 교환되는 DVD-ROM은 추크박스의 구동장치에 의해 제거되고 새로운 DVD-ROM이 로딩되는데 이 시기에 상대적으로 긴 교환 시간이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 DVD-ROM 교환시간을 은혜하면서 효율적인 데이터 전송을 지원할 수 있는 드라이브 스케줄링 기법으로써 교환 은혜 및 파이프라인 로딩 기법을 제안한다.

3.1 기본적인 파이프라인 로딩 기법

본 논문에서 제안한 DVD 추크박스 기반의 계층적 VOD 서버를 위한 파이프라인 로딩 기법의 설명에 앞서 필요한 주요 파라미터는 표 3과 같다. 또한 연속매체 스트림을 끊김 없이 재생하기 위한 파이프라인 기법의 적용을 위해서는 먼저 관련 연구[6]에서와 같이 두 가지 가정이 필요하다. 먼저, DVD 드라이브의 전송률(t)이 스트림의 재생률(d)보다 커야한다는 조건($d < t$)이 성립해야한다. 또한, 각 스트림 S_i 는 일련의 슬라이스 $S_{i,j}$ 로 나누어지며 하나의 슬라이스를 재생하는데 걸리는 시간은 DVD를 로딩하는데 소요되는 시간보다 커야한다. 이와 같은 가정

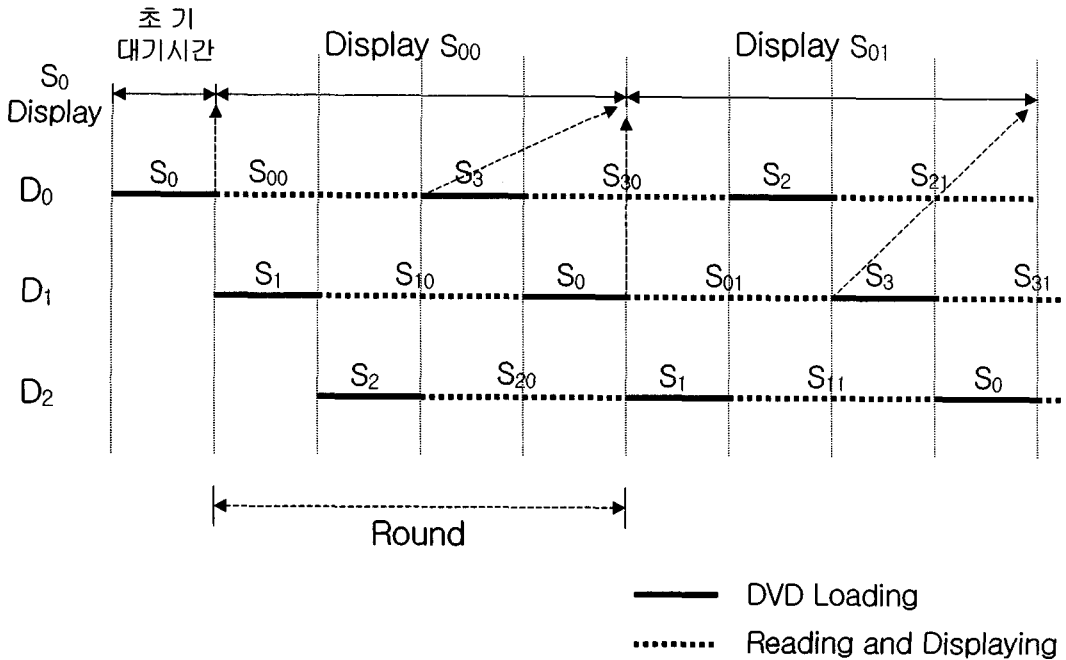
하에서 파이프라인 로딩 기법의 기본 알고리즘은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

- 단계 1. 첫번째 스트림을 비어있는 DVD-ROM 드라이브에 로딩한다.
- 단계 2. 로딩된 드라이브로부터 첫 번째 슬라이스를 읽어 주어진 재생률에 따라 사용자에게 전송하여 재생한다.
- 단계 3. 슬라이스가 재생되는 동안 다른 드라이브에 다음 스트림을 로딩한다. 이 과정은 슬라이스의 재생이 끝날 때까지 드라이브를 순환적으로 사용하여 반복된다. 반복되는 주기를 하나의 라운드(round)라 한다.
- 단계 4. 라운드가 종료되면 모든 스트림이 끝날 때까지 첫 번째 과정부터 반복한다.

<표 3> 파이프라인 로딩 기법을 위한 파라미터
 <Table 3> Parameters for the pipelined loading mechanism

파라미터	설 명
c	DVD 교환시간(sec)
s	DVD 탐색시간(sec)
d	스트림 재생률(MB/sec)
t	DVD 전송률(MB/sec)
u	동시 서비스 스트림 수
n	DVD 드라이브 수
l	스트림 길이(sec)

[그림 4]는 알고리즘의 이해를 위한 하나의 예를 나타낸 것이다. 여기서 D_i 는 각 DVD 드라이브를 표기하며 S_i 는 서비스되고 있는 각 스트림을 나타낸 것으로 예에서는 3개의 드라이브에 4개의 스트림이 동시 서비스되는 예를 설명한 것이다. 그림에서 각 가로 선은 드라이브의 로딩 및 전송과정을 시간으로 나타낸 것으로 실선으로 표현된 시간은 DVD-ROM 로딩 시간을 나타내며, 점선으로 표현된 시간은 로딩된 DVD-ROM으로부터 스트림의 일부 슬라이스를 읽어 사용자에게 데이터를 전송하여 재생하는 시간을 나타낸다.



[그림 4] 기본적인 파이프라인 로딩 기법

[Fig. 4] The primitive pipelined loading mechanism

그림에서 보듯이 다수의 드라이브를 사용하여 다수의 스트림이 서비스될 때 연속적인 재생이 보장되려면 각 라운드에서 하나의 드라이브에서 읽어들인 슬라이스를 재생하는 시간은 적어도 자신을 제외한 n-1개의 드라이브에 대한 DVD-ROM 교체 시간의 합보다 커야 한다는 조건을 만족해야 한다. 여기서, DVD-ROM 로딩 시간은 교환시간 (c)과 탐색시간 (s)의 합으로 나타낼 수 있으므로 이 조건을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$(c+s)u \leq (n-1)(c+s)\frac{t}{d}, \quad n > 1 \quad (1)$$

따라서, n개의 드라이브로 서비스 가능한 최대 스트림의 수는 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$u \leq \lfloor (n-1)\frac{t}{d} \rfloor \quad (2)$$

이 수식은 드라이브의 전송률이 스트림의 재생률보다 크면 사용하는 드라이브 수보다 많은 사용자를 수용할 수 있음을 보여준다.

만약 새로운 사용자의 수용이 가능하다고 하면 새로운 사용자의 요청에 의해 서비스를 시작할 수 있을 때까지 걸리는 시간인 초기 대기시간(initial latency time)은 최대 한 라운드에 해당하는 시간보다 작으므로 최악의 경우 초기 대기시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_r \leq (n-1)(n+s)\frac{t}{d} \quad (3)$$

한편, i번째 스트림의 j번째 슬라이스 S_{i,j}가 적재될 드라이브 번호는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_i = (i \% n + (u - n) \times j) \% n,$$

여기서 $0 \leq i < u - 1$ (4)

예를 들어, [그림 4]와 같은 드라이브 수가 3개이고 스트림 수가 4개인 예에서 i 번째 스트림의 j 번째 슬라이스가 적재되는 드라이브 번호는 [그림 5]와 같다. 즉, 스트림 0의 슬라이스 1은 드라이브 1에 할당되어 서비스된다.

드라이브 번호(D_i)	0	1	2	0	1	2	0	1	2	...			
스트림 번호(S_j)	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	...
슬라이스 번호(j)	0	1	2										

[그림 5] $n=3, u=4$ 의 경우 드라이브 할당 예
 [Fig. 5] An example of drive assignment for $n=3$ and $u=4$

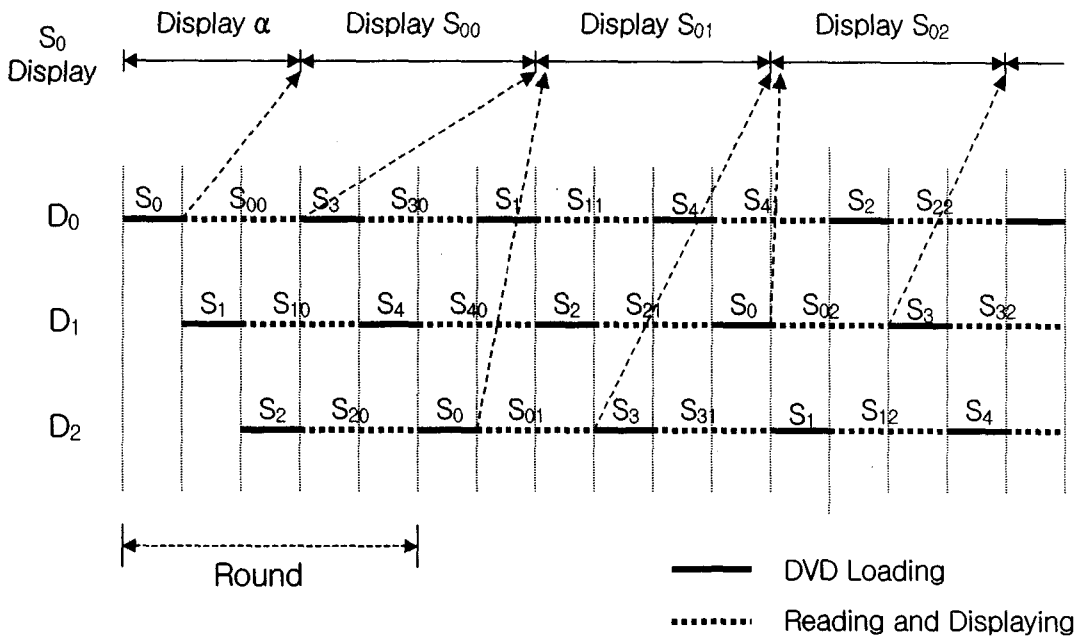
3.2 사용자 증가를 위한 개선된 파이프라인 로딩 기법

지금까지 연구된 파이프라인 기법의 주된 관심사는 버퍼 또는 캐쉬의 양을 적게 사용하면서 초기 대기시간을 최소화하는 것이 주요한 관심사였다. 그러나 과거에 비하여 2차 저장장치인 디스크의 급속한 가격 하락을 반영한다면 현실적으로 수백 GB까지 디스크를 3차 저장장치의 캐쉬로 사용 가능하다. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 디스크를 3차 저장장치의 캐쉬로 활용하여 기본적인 파이프라인 기법보다 수용 가능한 사용자 수를 증가시킬 수 있는 개선된 파이프라인 기법을 제안한다.

제안된 기법은 각 스트림에 대하여 일정한 양의 스트림 초기 부분을 미리 디스크에 적재시켜 놓아 서비스 시작 시 DVD-ROM 로딩에 필요한 초기 대기시간을 없앨 수 있으며, 초기 적재량에 따라 수용 가능한 사용자 수를 증가시킬 수 있다. 기본 알고리즘에서와 같은 가정 하에서 개선된 파이프라인 로딩 기법의 알고리즘은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

- 단계 1. 첫번째 스트림의 초기 부분을 디스크 캐쉬로부터 읽어 사용자에게 주어진 재생률에 따라 사용자에게 전송하여 재생한다.
- 단계 2. 디스크에서 읽는 동작과 병행하여 첫번째 스트림을 비어있는 DVD-ROM 드라이브에 로딩하여 초기 부분 이후의 슬라이스들 디스크로 읽어 들인다.
- 단계 3. 로딩된 드라이브로부터 읽어들이는 슬라이스는 디스크 상의 초기 부분의 재생이 끝난 후부터 연속적으로 주어진 재생률에 따라 사용자에게 전송하여 재생한다.
- 단계 4. 슬라이스가 재생되는 동안 다른 드라이브에 다음 스트림을 로딩한다. 이 과정은 슬라이스의 재생이 끝날 때까지 드라이브를 순환적으로 사용하여 반복된다. 반복되는 주기를 하나의 라운드(round)라 한다.
- 단계 5. 라운드가 종료되면 모든 스트림이 끝날 때까지 첫 번째 과정부터 반복한다.

[그림 6]은 개선된 알고리즘의 이해를 위한 하나의 예를 나타낸 것이다. 여기서 초기 적재량은 α (단위는 시간)로 나타내며, 예에서는 3개의 드라이브에 5개의 스트림이 동시 서비스되는 예를 설명한 것이다. 즉, [그림 4]에서의 기본 알고리즘에서와 같이 하나의 슬라이스의 재생시간은 4개의 스트림을 교환할 수 있는 시간이며, 이와 같은 조건하에서 그림과 같이 α 만큼의 초기 적재량에 따라 라운드의 길이가 길어지고 이에 따라 라운드 내에서 교환할 수 있는 DVD-ROM의 수를 증가시킬 수 있다.



[그림 6] 사용자 증가를 위한 개선된 파이프라인 로딩 기법

[Fig. 6] The enhanced pipelined loading mechanism

개선된 알고리즘에서 초기 적재량 $\alpha (\leq t)$ 에 따라 증가되는 사용자 수에 대한 관계는 식 (1)에서 유도될 수 있다. 즉, 초기 적재량이 각 라운드의 길이를 증가시키는 시간은 $(c+s)u \cdot \alpha / l$ 이므로 다음 식이 성립한다.

$$(c+s)u \leq (n-1)(c+s) \frac{t}{d} + \frac{(c+s)u}{l} \alpha \quad (5)$$

따라서, 증가되는 사용자 수는 다음과 같이 표현된다.

$$u \leq \frac{(n-1) \frac{t}{d}}{(1-\frac{\alpha}{l})} \quad (6)$$

식 (6)은 식 (2)와 비교하여 각 스트림마다 α 만큼의 초기 스트림을 디스크에 미리 적재해 둬으로써 생기는 시간에 다른 사용자의 요청을 처리할 수 있음을 의미한다.

또한 개선된 알고리즘에서는 디스크의 탐색시간과 전송시간을 제외하면 초기 지연 시간이 없다.

또한 개선된 알고리즘에서는 동시 사용자 수를 최대 수용 가능한 사용자 이하로 하면 DVD 교체 횟수를 줄일 수 있다. 즉, 실제 사용자 수와 최대 허용 사용자 수를 각각 $u_{service}$ 와 u_{max} 라 하면 식 (6)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$u_{max} = \frac{(n-1) \frac{t}{d}}{(1-\frac{\alpha}{l})} \quad (7)$$

이때, 각 라운드마다 필요한 DVD 교환 횟수를 n_c 라 하면 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$n_c = \lceil u_{service} (1-\frac{\alpha}{l}) \rceil \quad (8)$$

위의 식 (8)로부터 다음과 같이 DVD 교환에 필요한 시간 간격 T_C 를 구할 수 있다.

$$T_C = \frac{(c+s)u_{max}}{\lceil u_{service}(1-\frac{\alpha}{l}) \rceil} \quad (10)$$

위의 식 (6)과 (10)에서 알 수 있듯이 각 스트림의 처음 일부분을 디스크에 적재 시켜놓음으로써 서비스 가능한 사용자를 증가시킬 수 있으며, 사용자 수를 최대 사용자 이하로 할 경우는 DVD 교환 횟수를 줄여 결과적으로 DVD 교체에 필요한 시간간격이 넓혀지는 이점을 얻을 수 있다. 즉, DVD의 빈번한 교체로 인한 기계적인 문제 등을 완화시킬 수 있다.

4. 성능 분석

이 장에서는 본 논문에서 제안한 파이프라인 로딩 기법에 대한 성능 분석에 대하여 기술한다. 제안된 기법의 성능은 유사한 시스템 구조를 기반으로 한 관련연구[2][7][8][12]와 비교될 수 있다. 그러나 지금까지 대부분의 연구는 3차 저장장치로써 순차 저장장치인 테이프 체크박스를 기반 시스템으로 하고 있다. 이러한 테이프 체크박스를 사용한 경우로서 [7]의 연구는 각각의 스트림이 저장된 여러 테이프들로부터 여러 사용자의 요구를 처리하기 위한 해당 블록 탐색 시간의 최소화를 위한 스케줄링 기법에 대하여 기술하였다. [8]은 빈번히 사용되는 데이터 블록을 3차 저장장치로부터 2차 저장장치에 효과적으로 저장하는 방법과 하나의 테이프에 여러 스트림을 스트라이핑 방식으로 저장할 때 이를 드라이브에 로딩하는 스케줄링에 대하여 연구하였다. 기타 관련연구 [2][12]를 포함한 대부분의 최근 연구 결과들은 본 논문에서 제안한 파이프라인 로딩 기법과 세부적인 접근방법이 달라 성능의 정확한 비교 분석이 어렵다.

따라서 이 장에서는 위에서 기술한 파이프라인 로딩 기법에 대한 수식적인 분석을 토대로 시뮬레이션을 통하여 그 성능의 추이를 분석한다. 이때 적용되는 파라미터 값은 <표 4>와 같다.

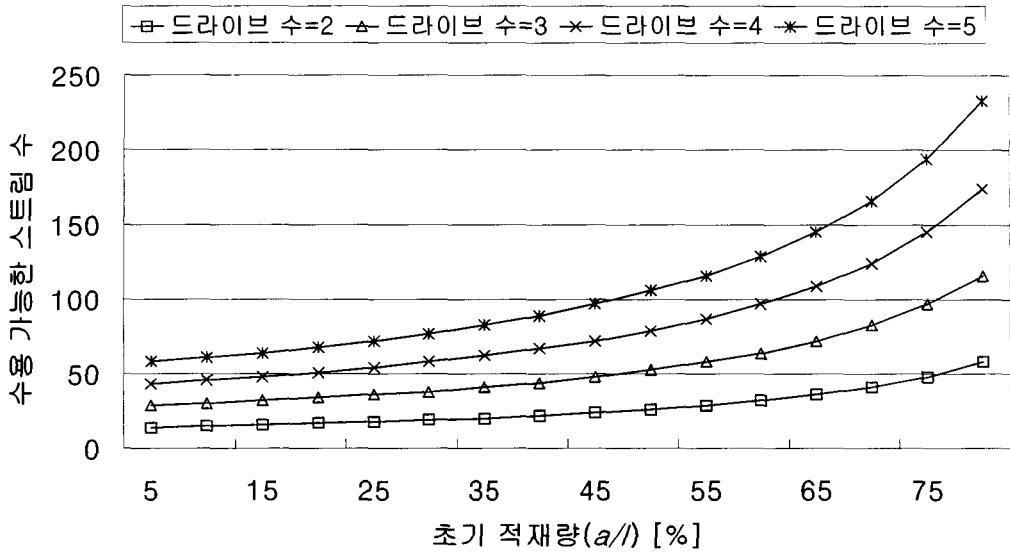
<표 4> 성능 분석을 위한 파라미터 값

<Table 4> Parameters for performance evaluation

파라미터	값
교환시간(c)	2 sec
탐색시간(s)	0.13 sec
디스플레이률(d)	4.692 Mbps
DVD 전송률(t)	8.55 MB/sec
영화길이(l)	60 분

먼저, 초기 적재량 α 값의 변화에 따른 사용자 수의 증가량을 [그림 7]에 나타내었다. 그림에서 x축은 전체 스트림 길이 중 미리 디스크에 적재시켜 놓는 비율을 나타내며, 드라이브 수가 2~5개일 때 적재 비율의 증가에 따라 수용 가능한 사용자 수가 크게 증가함을 볼 수 있다. 그러나 적재 비율이 높아지면 디스크 사용량이 증가하고 3차 저장장치 사용의 의미가 감소하므로 시스템이 보유하는 디스크 양과 서비스 스트림의 수 등을 고려하여 적절한 비율이 선택하여야 한다. 초기 적재량이 없을 때는 최대 수용 가능한 스트림 수는 식 (2)에 따른다.

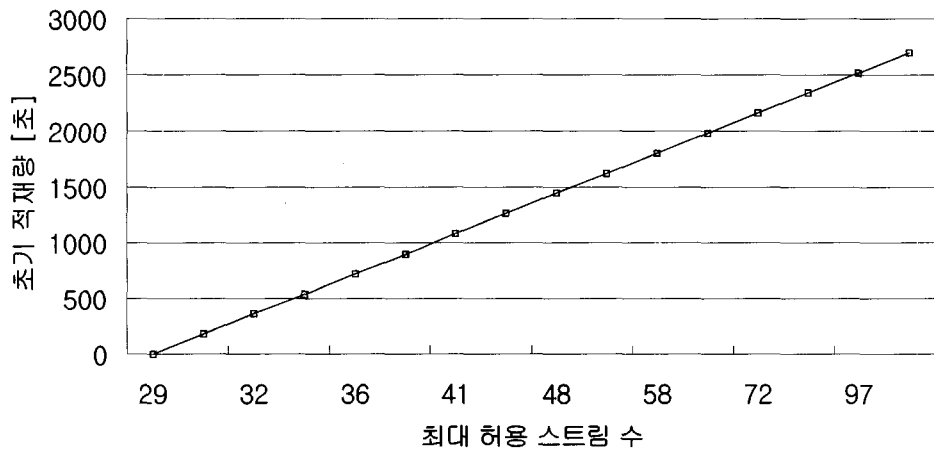
한편, [그림 8]은 DVD 드라이브 수가 3개일 경우 최대 수용 가능한 사용자 수의 증가에 따라 필요로 하는 전체 스트림 길이에 대한 초기 적재량을 표 4의 디스플레이률을 적용하여 시간으로 나타낸 것이다. DVD 드라이브가 3개일 경우 최대 허용 가능한 사용자 수는 식 (2)에서와 같이 29개이고, 사용자 수가 증가됨에 따라 초기 적재량 α 값이 비례하여 증가함을 알 수 있다.



[그림 7] 초기 적재량에 따른 최대 수용 가능한 스트림 수

[Fig. 7] The number of the maximum admissible streams for varying the size of the initial segment

드라이브 수 = 3



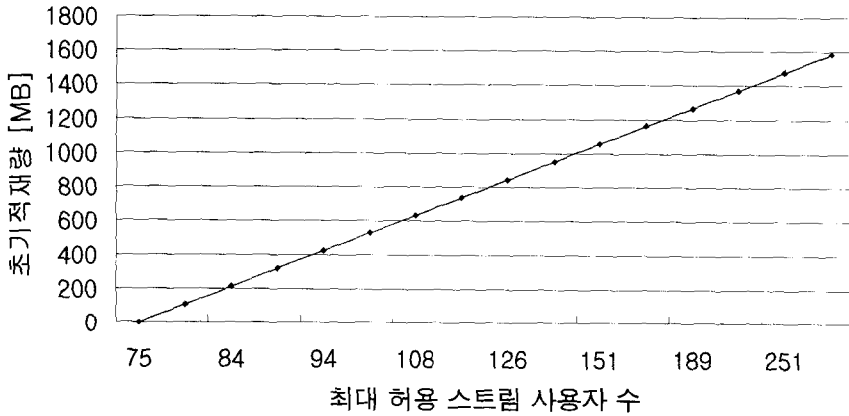
[그림 8] 최대 허용 스트림 수에 따른 초기 적재 시간

[Fig. 8] The length of the initial segment in time for varying the maximum admissible streams

[그림 9]는 드라이브 수가 5개 일 때 사용자 수의 증가에 따라 초기 적재량을 <표 4>의 디스플레이를 적용하여 크기로 나타낸 것이다. DVD 드라이브가 5개 일 경우 최대 허용 가능한 사용자 수는 식 (2)에서와 같이 75개이고, 사용자 수가 증가됨에 따라 초기 적재량 a 값이 비례하여 증가함을 알 수 있다.

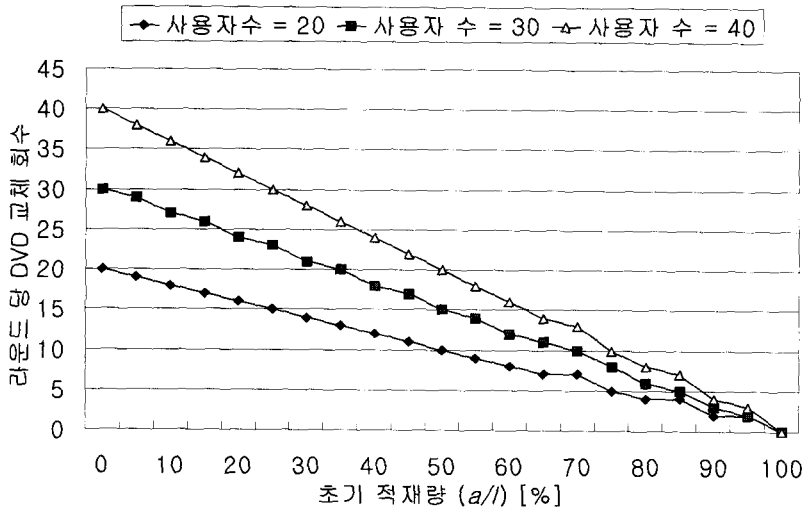
[그림 10]과 [그림 11]은 사용자 수를 최대 사용자 수 이하로 설정했을 경우 요구되는 DVD 교환 횟수와 교환에 필요한 시간 간격을 보여주고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 디스크에 초기 적재량이 증가함에 따라 DVD 교환 횟수가 감소하고, 그 결과 교환에 필요한 시간 주기가 커지는 이점을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

드라이브 수 = 5



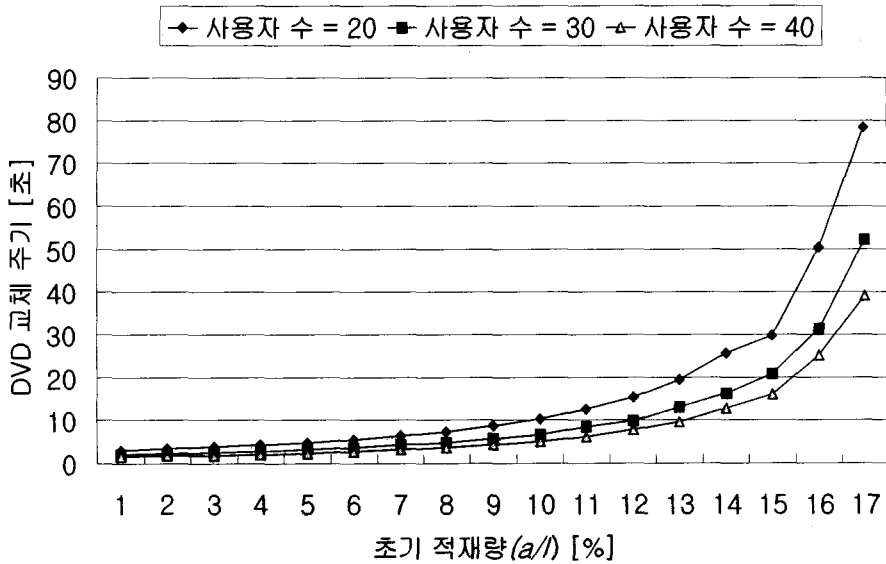
[그림 9] 최대 허용 스트림 수에 따른 초기 적재량

[Fig. 9] The size of the initial segment for varying the maximum admissible streams



[그림 10] 초기 적재량 증가에 따른 DVD 교환 횟수

[Fig. 10] The number of DVD exchanging for varying the size of the initial segment



[그림 11] 초기 적재량 증가에 따른 DVD 교환 주기

[Fig. 11] The number of DVD exchanging for varying the size of the initial segment

5. 결론

최근 관심을 끌고 있는 VOD 시스템을 현실적으로 실현 가능하게 하기 위해서는 대용량 멀티미디어 정보를 장기적으로 저장할 수 있도록 저가이면서 저장 용량이 큰 3차 저장장치를 사용하는 계층적 VOD 서버를 필요로 한다. 본 논문은 이러한 계층적 VOD 서버를 저가의 대용량 DVD 주크박스를 온라인 저장장치로 사용하여 구성하고, 각 DVD-ROM에 저장되어 있는 여러 개의 스트림들을 적당한 시간을 주기로 교환하여 드라이브들을 교대로 활용하게 함으로써 서비스 스트림을 최대화함으로써 VOD 서버의 효율을 높이고자 하였다.

그러나 DVD 주크박스 내에서 하나의 스트림이 저장된 DVD-ROM의 교환은 상대적으로 긴 시간을 요구하므로 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 DVD 주크박스를 기반으로 한 VOD 서버에서 DVD-ROM의 교환시간을 은폐하면서 효율적인 데이터 전송을 지원 할 수 있는 파이프라인 로딩기법을 제안하였다.

또한 본 논문은 주어진 드라이브 수를 가지고 VOD 서버의 사용자 수용 능력을 더 증가시키기 위하여 디스크를 캐쉬로 사용하여 스트림의 초기 일부분을 미리 디스크 캐쉬에 적재하여 놓음으로써 최대 허용 스트림 수를 증가시킬 수 있는 기법을 제안하였다.

성능분석을 위한 시뮬레이션 결과에서 본 논문에서 제안한 기법은 기본적으로 전송률이 큰 DVD 드라이브를 사용하여 드라이브 수보다 더 큰 사용자 수용할 수 있었으며, 디스크에 일정양의 데이터를 미리 적재 시켜놓음으로써 서비스 가능한 사용자 수를 보다 더 늘려 성능을 향상 시킬 수 있었다.

또한, 디스크 캐쉬 기법을 통하여 주어진 사용자 수에 대하여 DVD 교환 횟수를 줄이고 결과적으로 DVD 교체에 필요한 시간간격을 크게 하여 교환에 필요한 부하를 줄일 수 있다.

결과적으로 본 논문에서 제안된 기법은 기존의 파이프라인 기법과 비교하여 DVD 드라이브를 직접

온라인 저장장치로 사용하면서 우수한 성능을 나타냄을 보였다.

본 논문에서 제안된 파이프라인 로딩 기법은 최근 활용 범위를 급속히 넓어가고 있는 VOD 서비스 분야인 Movie on Demand, News on Demand, 가상 교육, 홈쇼핑 등의 시스템 구성을 위한 대규모 VOD 서버에 적용될 수 있다. 이를 위하여 향후에는 실제 상용 DVD 주크 박스를 사용한 시스템의 실험적 구현과 실제적인 사용자 요구에 대한 실험적 성능분석에 관하여 추가 연구를 진행할 예정이다.

※ 참고 문헌

- [1] A. L. N. Reddy and J. C. Wyllie, "I/O issues in a multimedia system," *IEEE Computer*, Vol. 27, No. 3, March 1994.
- [2] C. Federighi and L. A. Rowe, "A Distributed Hierarchical Storage Manager for a Video-on-Demand System," *IS&T/SPIE Symp. on Elec. Imaging Sci. & Tech.*, San Jose, CA, February 1994.
- [3] C. Shahabi, M. H. Alshayegi, and S. Wang, "A Redundant Hierarchical Structure for a Distributed Continuous Media Server," *Proceedings of the IDMS97*, Sept. 1997.
- [4] D. J. Gemmell, H. M. Vin, D. D. Kandlur, P. V. Rangan, and L. A. Rowe, "Multimedia Storage Servers: A Tutorial," *IEEE Computer*, 28(5), May 1995.
- [5] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, Y. Q. Zhang, and J. M. Peha, "Streaming Video Over the Internet: Approaches and Directions," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11. No. 1 Feb. 2001.
- [6] F. Fabbrocino, J. R. Santos, and R. Muntz, "An Implicitly Scalable, Fully Interactive Multimedia Storage Server," *International Workshop on Distributed Interactive Simulation and Real Time Applications(DIS-RT'98)*, 1998.
- [7] P. Triantafillou and I. Georgiadis, "Hierarchical Scheduling Algorithms for Near-Line Tape Libraries," *Proceedings of the 10th International Workshop on DEXA*, 1999.
- [8] P. Triantafillou and T. Papadakis, "On-Demand Data Elevation in Hierarchical Multimedia Storage Servers," *Proceedings of the 23rd VLDB Conference*, Athens, Greece, August, 1997.
- [9] S. Christodoulakis, P. Triantafillou, and F. Zioga, "Principles of Optimally Placing Data in Tertiary Storage Libraries," *Proceedings of the 23rd VLDB Conference*, Athens, Greece, August, 1997.

- [10] S. Ghandeharizad and S. H. Kim, "Striping in Multi-Disk Video Servers," Proceeding of High-Density Data Recording and Retrieval Technologies, Oct. 1995.
- [11] S. Ghandeharizad and C. Shahabi, "On Multimedia Repositories, Personal Computers, and Hierarchical Storage System," ACM Multimedia, 1994.
- [12] S. Ghandeharizaden, R. Zimmermann, W. Shi, R. Rejaie, D. Ierardi, and T.W. Li, "Mitra: A Scabale Coninupuse Media Server," In Multimedia Tools and Applications, pages 79-108, Kluwer Academic Publishers, July 1997.
- [13] S. W. Lau, J. C. S. Lui, and P. C. Wong, "A Cost-effective Near-line Storage Server for Multimedia System," Proceedings of the 11th International Conference on Data Engineering, Taipei, Taiwan, March, 1995.
- [14] T. D. C. Little and D. Venkatesh, "Prospects for Interactive Video-on-Demand," IEEE Multimedia, Vol. 1, Fall 1994.
- [15] T. Kunii, "Issues in Storage and Retrieval of Multimedia Data," ACM Multimedia Systems, Vol. 3, No. 5-6, 1995.
- [16] V. Shastri, V. Rajaraman, H. S. Jamadagni, V. Rangan, and S. Ampath-Kumar, "Design issues and Caching strategies for CD-ROM based Multimedia Storage," SPIE Proceedings Vol. 2667, 1996.
- [17] 서덕록, 강대혁, 김수정, 이원석, 이정수, "복합 다단계 주문형 비디오 서버의 설계 및 구현," 한국정보처리학회 논문지, 1997년 3월.
- [18] 이종민, 이귀영, 이홍규, "멀티미디어 서버에서의 실시간 처리 디스크 스케줄링 기법," 정보과학회지, 제14권, 제9호, 1996년 9월.

최 황 규



1984년 2월 경북대학교 전자공학(학사)
 1986년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학(석사)
 1989년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학(박사)
 1994년 7월 ~ 1995년 7월 Univ. of Florida Database R&D Center 방문교수
 1999년 3월 ~ 2001년 2월 강원대학교 전자계산소 소장
 1990년 3월 ~ 현재 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수
 관심분야 : 멀티미디어 시스템, 데이터베이스 시스템, 멀티미디어 정보검색, 병렬 I/O 시스템 등