

MPEG-1 비디오 스트림의 다중 해상도를 위한 스트라이핑 기법

김진환^{*}

요약

본 논문에서는 MPEG-1 비디오 스트림이 여러 해상도 수준으로 재생될 수 있도록 디스크 배열에 대한 스트라이핑 기법이 제시된다. MPEG-1 압축 알고리즘에 대한 본 논문의 다단계 인코딩 기법은 우선 원래의 비디오 스트림을 시간적 차원에서 분할한다. 분할된 서브스트림의 각 프레임은 색상 차원에서 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트로 다시 분리된다. 멀티미디어 서버는 라운드 로빈 방식으로 서로 다른 컴포넌트의 블록을 디스크에 연속하여 저장한다. 결과적으로 해상도 수준이 낮게 유지될수록 고객에 의해 액세스되는 디스크들의 수가 적어지게 된다. 즉 디스크 배열을 효과적으로 이용하고 동시에 서비스되는 고객들의 수를 최대화하기 위하여 제시된 스트라이핑 기법은 서브스트림의 컴포넌트들을 디스크에 인터리빙하여 저장한다. 제시된 스트라이핑 기법은 서버의 성능을 개선할 수 있으며 이는 시뮬레이션을 통하여 실험적으로 검증되고 분석된다.

A Striping Technique for Multi-Resolution of the MPEG-1 Video Stream

Jinhwan Kim^{*}

ABSTRACT

We present a striping technique that MPEG-1 video streams on a disk array can be efficiently played back at different resolution levels. For the MPEG-1 compression algorithm, the proposed multi-level encoding technique first partitions the parent video stream in the temporal dimension. Each frame in the sub-stream is then partitioned in the chroma dimension yielding a low resolution and a residual component. The multimedia server stores blocks of different components on consecutive disks in a round robin manner. As a result, the lower the resolution level being maintained, the smaller is the number of disks accessed by each client. To effectively utilize a disk array and to maximize the number of clients that can be serviced simultaneously, the proposed technique interleaves the storage of the component of sub-streams among the disks in the array. We empirically validate and evaluate this striping technique through simulation in order to show the improvement of its performance on the server.

Key words: 디스크 배열, 스트라이핑, 다중 해상도, 다중 인코딩, 배치

1. 서론

멀티미디어 응용 분야에서는 방대한 양의 정보를 효율적으로 처리하고 저장하기 위하여 여러 가지 압

축 연구는 2003년도 한성대학교 교내 연구비 지원 과제임.
접수일 : 2002년 4월 2일, 완료일 : 2002년 11월 22일
^{*}정희원, 한성대학교 컴퓨터공학부

축 기술과 디스크 배열 장치 등이 사용된다[1, 2]. 멀티미디어 서버는 다수의 디스크를 연결하는 디스크 배열을 이차 저장장치로 사용함으로써 비용, 공간, 성능 등에 대한 장점을 추구할 수 있으며 멀티미디어 객체의 데이터 요구량을 충족할 수 있게 된다[3]. 그리고 멀티미디어 정보 서비스를 수행하는 서버는 대량의 데이터를 저장하기 위해 디스크 배열 장치와의

에 압축 기술이 필요하며 특히 실시간으로 동영상을 전송하는 화상 회의 서비스 등의 응용은 압축된 동영상 데이터를 전송함으로써 필요한 네트워크 대역폭을 줄이게 된다. 현재 이러한 압축 기술로는 실시간 동영상 서비스를 위한 H.261[4]과 저장된 동영상 서비스를 위한 MPEG[5] 기법 등이 널리 사용되고 있다. 1.5 Mbps 대역폭을 지향하는 MPEG-1 기법에서는 비디오 스트림이 단일 해상도를 가지고 있는 반면 2-80 Mbps 대역폭의 MPEG-2 기법과 9-40 Kbps 대역폭의 MPEG-4 기법에서는 비디오 스트림이 2개 이상의 다중 해상도를 가질 수 있도록 표준 기술이 제정되어 있으며 이에 대한 구현이 현재 진행 중에 있다[6].

동영상 서비스의 품질은 제공되는 비디오의 해상도에 따라 결정되며 사용자는 원하는 화면의 크기 또는 접속된 네트워크의 속도에 따라 최상의 해상도로 검색하거나 낮은 해상도를 선택하는 대신 빠른 서비스를 원할 수 있다. 현재 MPEG-1 비디오 스트림에서는 다양한 해상도가 제공되지 못하고 있다. 본 논문에서는 MPEG-1 비디오 스트림을 시간과 공간의 중복성을 이용하여 4 단계의 해상도를 가질 수 있는 엔코딩 기법을 제시하며 단계별로 분리된 비디오 서브스트림을 디스크 배열의 각 디스크에 저장하며 배치하는 기법을 제시한다. 국내에서는 MPEG-1 비디오 스트림의 시간 차원을 이용하여 프레임(I, P, B 프레임) 종류별로 3 단계의 해상도가 지원되는 비디오 재생 기법에 대한 연구 결과[7]가 발표된 바 있다. 국외에서는 비디오 스트림의 재생중 빨리 감기(fast-forward) 기능을 위하여 I 프레임과 P 프레임의 일부를 분리하여 두개의 서브스트림을 구성하고 B 프레임을 별도의 서브스트림으로 구성함으로써 색도와 공간 차원에서 다중 해상도를 제공하는 기법들이[8,9] 발표된 바 있다.

본 논문에서는 MPEG-1 비디오 스트림이 4 단계의 해상도를 지원하도록 I, P, B 프레임들을 두 개의 서브스트림으로 분리하고 각 서브스트림을 다시 2개의 컴포넌트로 분할하여 모두 4개의 컴포넌트들이 구성되는 다단계 엔코딩 기법이 제시된다. 그리고 각 컴포넌트를 디스크 배열에 라운드 로빈 방식을 이용하여 저장하고 배치하는 스트라이핑 기법도 제시된다. 이러한 기법으로 구축된 멀티미디어 서버는 사용자가 요구하는 다양한 해상도를 제공할 수 있으며

시스템에 일시적으로 과부하가 발생한 경우에도 관리적 측면에서 해상도를 낮게 유지하여 시스템의 급속한 성능 저하를 방지할 수 있게 된다. 디스크 배열에 구축된 다중 해상도 비디오 스트림의 재생시 해상도 단계를 낮게 설정할수록 서버가 동시에 수용할 수 있는 사용자들의 수가 증가되는 실험 결과가 기술된다.

2. 다중 해상도를 위한 엔코딩 기법

2.1 MPEG-1 압축 기법

MPEG-1 압축 알고리즘은 이미지의 시간과 공간의 중복성을 최대한 이용하여 데이터를 압축한다. 압축이 수행된 MPEG-1 비디오 스트림은 계층 구조상 일정 개수의 픽처 또는 프레임들로 구성된 GOP(group of picture) 층이 형성된다[6]. 이 GOP 층은 I, P, B, D 프레임 등의 픽처들이 저장되며 임의로 접근할 수 있는 단위가 된다. 실제로 MPEG-1 비디오는 한 GOP를 구성하는 프레임 수에 의해 서비스 품질(QoS; quality of service) 수준이 결정된다. 이는 MPEG-1 표준의 압축 변수인 N과 M에 의하여 달라지며 N은 한 GOP 내의 프레임 수를 M은 I 또는 P 프레임이 나타나는 주기를 의미한다. 예를 들어 N=15, M=3일 경우 GOP 내에서 프레임들의 배열은 IBBPBBPBBPBBPBB가 된다. 각 프레임은 여러 개의 슬라이스로 구성되며 각 슬라이스는 연속된 매크로 블록(macro block)으로 구성된다. 매크로 블록은 1616 픽셀(pixel) 크기를 가지며 이는 다시 8×8 픽셀 크기를 갖는 4개의 명시도(luminance) 블록과 2개의 색도(chrominance) 블록으로 분할된다. 각 8×8 블록은 DCT(discrete cosine transform) 계수로 구성된다.

2.2 다중 해상도용 엔코딩 기법

본 논문의 엔코딩 기법에서는 이미 압축이 된 MPEG-1 비디오 스트림의 I, P, B 프레임들을 구분하여 I 프레임과 P 프레임으로 구성된 서브스트림(sub-stream)을 기본(base) 서브스트림으로 정의하고 B 프레임만으로 구성된 서브스트림을 강화(enhancement) 서브스트림으로 정의하여 임의의 비디오 스트림을 두 가지 서브스트림으로 구성한다[9]. MPEG-1 비디오 스트림을 색도와 공간의 차원에서 다중 해상도를 구비할 수 있는 요건은 DCT 계수를

이용하여 데이터를 분할하는 것이다[9]. 비트율과 비디오 화질의 상대적 중요성에 따라 I 프레임과 P 프레임에 대한 8×8 블록의 DCT 계수중 18~20개 정도를 저해상도용 컴포넌트로 구성하고 나머지 DCT 계수들을 잔여(residual) 컴포넌트로 구성하여 비디오 재생시 저해상도용 컴포넌트로 구성된 서브스트림만을 이용하여 빨리감기 기능을 수행하는 기법은 논문[9]에서 발표된 바 있다. 그리고 이 논문에서는 비디오 스트림의 정상적인 재생시에는 기본 서브스트림과 강화 서브스트림이 모두 이용되고 있다. 즉 다중 해상도를 제공하기 보다는 빨리감기 기능을 위하여 서브스트림과 컴포넌트가 구성된 것이다. 그러나 본 논문에서는 기본 서브스트림의 I 프레임과 P 프레임은 물론 강화 서브스트림의 B 프레임도 각각 2개의 컴포넌트로 구성한다. 각 프레임의 모든 8×8 블록의 DCT 계수중 20개를 저해상도용 컴포넌트로 구성하고 나머지 44개 계수를 잔여 컴포넌트로 구성하는 엔코딩 기법이 사용된다. 그림 1에서 음영이 표시된 저해상도용 컴포넌트는 1개의 DC 계수(1번 계수)와 19개의 AC 계수(2번부터 20번 계수)가 zigzag 패턴으로 구성된다. 21번부터 64번 까지 44개의 AC 계수들은 잔여 컴포넌트로 구성된다.

본 논문의 엔코딩 기법에서는 기본 서브스트림을 구성하는 I와 P 프레임에 해당하는 모든 8×8 블록들의 저해상도용 컴포넌트를 B₁로 정의하며 잔여 컴포넌트는 B_r로 각각 정의한다. 그리고 강화 서브스트림을 구성하는 B 프레임에 해당하는 모든 8×8 블록들의 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트는 E₁과 E_r로 각각 정의한다. 따라서 각 서브스트림은 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트로 구성되기 때문에 임의의 비디오 스트림은 모두 4개의 컴포넌트로 분할되어 4단계의 해상도를 제공하게 된다. 해상도가 가장 높은 1 단계에서는 두 개의 서브스트림을 구성하는 B₁, B_r, E₁, E_r 컴포넌트들이 모두 재생되며 다음 단계인 2 단계에서는 기본 서브스트림의 B₁, B_r 컴포넌트와 강화 서브스트림의 E₁ 컴포넌트만이 재생된다. 그리고 3 단계에서는 기본 서브스트림인 B₁, B_r 컴포넌트들만이 재생된다. 가장 해상도가 낮은 4 단계에서는 기본 서브스트림의 B₁ 컴포넌트만이 재생된다. 이때 B₁ 컴포넌트는 비디오 재생시 빨리 감기 기능을 수행할 목적으로도 사용될 수도 있다. 실제로

B₁ 컴포넌트만을 재생하여 빨리 감기 기능을 수행할 때 적절한 수준의 비디오 화질이 유지될 수 있다는 연구 결과[9]가 발표된 바 있다.

1	2	6	7	15	16	28	29
3	5	8	14	17	27	30	43
4	9	13	18	26	31	42	44
10	12	19	25	32	41	45	54
11	20	24	33	40	46	53	55
21	23	34	39	47	52	56	61
22	35	38	48	51	57	60	62
36	37	49	50	58	59	63	64

그림 1. 8×8 블록의 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트 분리

3. 디스크 배열의 스트라이핑 기법

3.1 스트라이핑 기법

대용량의 데이터를 저장하고 높은 대역폭을 얻기 위해 멀티미디어 서버는 디스크 배열에 기초한 구조를 채택한다[10]. 이 절에서는 다중 해상도를 가진 비디오 스트림을 디스크 배열에 인터리빙(interleaving)하고 서버로 하여금 여러 해상도 수준에서 비디오 스트림들을 재생할 수 있는 효율적인 배치(placement) 기법을 기술한다. 이 기법은 특정 미디어(본 논문에서는 비디오로 국한함) 스트림이 저장된 디스크의 수를 스트라이핑 정도(degree of striping)로 정의하는 변수와 한 디스크에 연속적으로 저장되는 논리적 데이터의 최대량을 스트라이핑 단위(striping unit) 또는 미디어 블록(media block)으로 정의하는 변수로 기술된다[8].

비디오 재생시 주기적인 특성으로 인하여 서버는 다수의 고객들을 주기적인 라운드 단위(예, 1초)로 서비스하게 된다. 각 라운드마다 서버는 고객을 위하여 일정한 수의 미디어 단위(예를 들면 비디오 프레임 또는 오디오 샘플)를 검색하며 연속적인 재생을 보장하기 위하여 액세스한 미디어 블록 또는 스트라이핑 단위의 수가 재생될(예, 초당 재생되는 비디오 프레임 수)을 충족시킬 수 있도록 하여야 한다. 이때

서비스 시간(한 라운드동안 재생될 미디어 블록들을 디스크에서 검색한 시간)이 라운드 시간을 초과해서는 안되며 초과하는 경우에는 미디어 재생시 불연속성이 발생하여 서비스 품질이 저하된다.

MPEG-1 비디오 스트림은 가변 비트율(VBR: variable bit rate) 압축 알고리즘이 이용되므로 스트림내의 연속적인 비디오 단위의 크기는 변동된다. 이러한 변동성 때문에 고객이 한 라운드동안 일정한 수의 미디어 블록을 액세스한다 하더라도 실제 액세스되는 디스크 블록의 수는 라운드마다 달라질 수 있다. 디스크 블록의 크기가 고정된 경우 하나의 미디어 블록은 한 개 이상의 디스크 블록으로 구성된다. 더욱이 라운드마다 고객이 액세스하는 디스크들의 집합이 다르기 때문에 액세스되는 블록의 수도 디스크별로 달라질 수 있다. 즉 일부 디스크에 대한 부하가 많아져서 서비스 시간이 라운드 시간보다 길어지면 불연속적인 미디어 재생이 수행될 수 있다. 디스크에 대한 과부하 현상을 해결하려면 디스크 블록 크기를 줄여서 부하를 디스크마다 균등하게 유지하는 것이 바람직하나 탐색시간과 회전 지연 시간이 증가하여 결국 서비스 시간을 증가시킬 수 있는 문제가 발생할 수 있다[8]. 디스크 블록의 크기를 정하는 것은 대단히 중요한 사항이나 본 논문에서는 이에 대한 구체적인 기술을 생략하며 각 디스크 블록은 동일한 크기로 구성되는 것을 가정한다.

3.2 컴포넌트 배치

본 절에서는 비디오 스트림의 수를 양의 정수 N 으로 가정하며 임의의 스트림 $i(1 \leq i \leq N)$ 에 대한 4개의 컴포넌트를 각각 $B_{i,i}$, $B_{i,r}$, $E_{i,i}$, $E_{i,r}$ 로 정의한다. 디스크 배열의 디스크 수를 양의 정수 D 라 할 때 스트림 i 의 $B_{i,i}$ 컴포넌트는 $i \bmod D$ 디스크에 저장되고 $B_{i,r}$ 컴포넌트는 $(i+1) \bmod D$ 디스크, $E_{i,i}$ 컴포넌트는 $(i+2) \bmod D$ 디스크, $E_{i,r}$ 컴포넌트는 $(i+3) \bmod D$ 디스크에 각각 저장된다. 그리고 n 번째 라운드동안 재생될 스트림 i 의 컴포넌트들을 본 논문에서 세그먼트 컴포넌트라 정의하며 $B_{i,i}(n)$, $B_{i,r}(n)$, $E_{i,i}(n)$, $E_{i,r}(n)$ 등으로 각각 표기한다. 각 세그먼트 컴포넌트는 본 논문에서 디스크 배열에 대한 스트라이핑 단위 또는 미디어 블록을 의미하며 해당 라운드동안 재생될 내용을 하나 이상의 디스크 블록으로 구성하게 되며 이 디스크 블록들은 동일한 디스크에 인접하여

저장된다. 세그먼트 컴포넌트는 한 개 이상의 디스크 블록으로 구성되므로 마지막 디스크 블록의 경우 단편화(fragment) 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 마지막 디스크 블록의 경우 단편화 현상이 생기면 다음 라운드에 수행될 세그먼트 컴포넌트 내용을 저장한다. 예를 들어 $B_{i,i}(n)$ 컴포넌트가 4개의 디스크 블록으로 구성되었으나 마지막 블록의 1/2이 비었을 경우 $B_{i,i}(n+1)$ 컴포넌트 내용이 빈 공간에 저장되는 것이다. $B_{i,i}(n+1)$ 컴포넌트의 블록들은 다음번 라운드에 재생될 프레임を 가지고 있기 때문에 버퍼에 미리 배치함으로써 해당 라운드에 이 프레임들이 빨리 재생될 수 있도록 한다. 본 논문에서는 비디오 스트림의 재생을 위한 버퍼의 크기가 충분한 상황을 가정하였다.

한편 고정된 크기의 디스크 블록을 사용함으로 동일한 라운드라 하더라도 각 세그먼트 컴포넌트를 구성하는 디스크 블록 수는 서로 다를 수 있다. 디스크의 수 D 가 4인 디스크 배열에서 스트림 i 와 $i+1$ 이 n 번째 라운드와 $n+1$ 번째 라운드에서 수행될 세그먼트 컴포넌트가 구성된 예는 그림 2와 같다. 양의 정수 i 를 4로 나눈 나머지가 0이라고 가정하면 스트림 i 의 $B_{i,i}(n)$ 세그먼트 컴포넌트는 디스크 0에 저장되며 나머지 $B_{i,r}(n)$, $E_{i,i}(n)$, $E_{i,r}(n)$ 컴포넌트들은 차례로 디스크 1, 디스크 2, 디스크 3에 각각 저장된다. 그리고 스트림 $i+1$ 의 $B_{i+1,i}(n)$ 세그먼트 컴포넌트는 라운드 로빈 방식을 이용하여 디스크 1에 저장되며 $B_{i+1,r}(n)$, $E_{i+1,i}(n)$, $E_{i+1,r}(n)$ 컴포넌트들은 디스크 2, 디스크 3, 디스크 0에 각각 저장된다. 스트림 i 의 $n+1$ 번째 세그먼트 컴포넌트 $B_{i,i}(n+1)$ 는 $B_{i,i}(n)$ 컴포넌트와 동일한 디스크 0에 저장되며 나머지 $B_{i,r}(n+1)$, $E_{i,i}(n+1)$, $E_{i,r}(n+1)$ 컴포넌트들도 $B_{i,r}(n)$, $E_{i,i}(n)$, $E_{i,r}(n)$ 컴포넌트들과 동일한 디스크에 차례대로 저장된다. 스트림 $i+1$ 의 $n+1$ 번째 라운드에 수행될 $B_{i+1,i}(n+1)$, $B_{i+1,r}(n+1)$, $E_{i+1,i}(n+1)$, $E_{i+1,r}(n+1)$ 컴포넌트들도 $B_{i+1,i}(n)$, $B_{i+1,r}(n)$, $E_{i+1,i}(n)$, $E_{i+1,r}(n)$ 컴포넌트들과 동일한 디스크에 각각 저장된다.

그림 2의 디스크 배치 기법에서는 해상도가 가장 높은 1 단계의 경우 스트림을 구성하는 4개의 컴포넌트가 4개의 디스크에 저장되어 있으므로 스트라이핑 정도가 4가 된다. 그리고 해상도를 한 단계씩 낮출 때마다 디스크에서 검색되는 컴포넌트가 1개씩 감소하게 되므로 스트라이핑 정도도 1씩 감소된다.

디스크 0	디스크 1	디스크 2	디스크 3
:	:	:	:
$B_{i,i}(n)$	$B_{i,r}(n)$	$E_{i,i}(n)$	$E_{i,r}(n)$
$E_{i+1,r}(n)$	$B_{i+1,i}(n)$	$B_{i+1,r}(n)$	$E_{i+1,i}(n)$
:	:	:	:
$B_{i,i}(n+1)$	$B_{i,r}(n+1)$	$E_{i,i}(n+1)$	$E_{i,r}(n+1)$
$E_{i+1,r}(n+1)$	$B_{i+1,i}(n+1)$	$B_{i+1,r}(n+1)$	$E_{i+1,i}(n+1)$
:	:	:	:

그림 2. 4개의 디스크에 스트림 i와 i+1 컴포넌트 배치

4. 성능 분석

4.1 실험 환경

MPEG-1 스트림의 경우 프레임 간의 크기 비율은 스트림의 종류에 따라 다르다. 영화의 경우 I, P, B 프레임 간의 평균 크기 비율은 8.2:2.1:1이고 움직임이 많은 스포츠 경기의 경우에는 5.1:2.4:1, 뉴스 등 움직임이 적은 스트림은 9.5:3.0:1로 나타난 바 있다 [7]. 영화 Mission Impossible MPEG-1 압축 파일인 mission.mpg에서는 I, P, B 프레임의 평균 크기가 각각 16657, 8183, 4399 바이트로 분석되었다[11]. 본 논문에서는 20개의 MPEG-1 비디오 스트림이 디스크 크가 4개인 디스크 배열에 컴포넌트별로 배치되는 상황을 가정하였다. 20개의 MPEG-1 영화 스트림을 실제로 사용하는 대신 임의의 스트림에 대하여 B 프레임의 크기를 평균 5000 바이트로 가정하였으며 I 프레임과 P 프레임은 영화의 평균 프레임 간의 크기 비율인 8.2:2.1:1을 고려하여 각각 41000 바이트와 10500 바이트를 평균 크기로 정하였다. 각 프레임 크기의 변동성은 실험을 위하여 평균 80% 범위내에서 크기가 결정되도록 임의의 난수 생성기(random number generator)가 사용되었다. 즉 I, P, B 프레임의 최소값, 평균값, 최대값은 다음과 같이 결정된다.

- I 프레임: 최소값 8200 바이트, 41000 바이트, 최대값 73800 바이트
- P 프레임: 최소값 2100 바이트, 평균값 10500 바이트, 최대값 18900 바이트
- B 프레임: 최소값 1000 바이트, 평균값 5000 바이트, 최대값 9000 바이트

본 실험에서 한 GOP는 매개변수 $N=12, M=4$ 를 이용하여 I 프레임 1개, P 프레임 2개, B 프레임 9개가 구성되며 프레임들은 IBBBPBBBBPBBB 순서가 된다. 실제 비디오 스트림을 사용하는 대신 평균값을 이용하여 20개 스트림의 I, P, B 프레임을 구성하였으며 각 스트림은 4개의 컴포넌트로 분리되며 3.2절에서 기술된 방식에 의하여 4개의 디스크에 배치되었다. 20개 스트림들 중 임의의 스트림 i의 1번째 라운드에 수행될 세그먼트 컴포넌트 $B_{i,i}(1)$ 는 $i \bmod 4$ 디스크에 저장되므로 스트림 4, 8, 12, 16, 20의 1번째 라운드를 위한 세그먼트 컴포넌트 $B_{4,i}(1), B_{8,i}(1), B_{12,i}(1), B_{16,i}(1), B_{20,i}(1)$ 들은 디스크 0에 저장되며 1번째 라운드를 위한 다른 세그먼트 컴포넌트들은 라운드 로빈 방식으로 각각 디스크 1, 2, 3에 저장된다. 이와 같은 방법으로 스트림 1, 5, 9, 13, 17의 1번째 라운드용 세그먼트 컴포넌트들은 디스크 1에 저장되고 스트림 2, 6, 10, 14, 18의 1번째 라운드용 세그먼트 컴포넌트들은 디스크 2에 저장되며 스트림 3, 7, 11, 15, 19의 1번째 라운드용 세그먼트 컴포넌트들은 디스크 3에 각각 저장된다.

실험에서 사용된 Seagate-Ellite3 디스크 변수들의 설정은 표 1과 같다. 4개의 디스크로 구성된 디스크 배열에 대한 시뮬레이터를 CSIM 소프트웨어[12]를 이용하여 구현하였으며 디스크 블록의 크기는 2048 바이트로 구성하였다.

표 1. 하드 디스크 변수 설정

변 수	값
디스크 용량	2G 바이트
디스크 수	4
섹터당 바이트 수	512 바이트
트랙당 섹터 수	99
실린더당 트랙 수	21
디스크당 실린더 수	2627
최소 탐색(seek) 시간	1.7 ms
최대 탐색 시간	22.5 ms
최대 회전지연 시간	11.1 ms

4.2 성능 분석

4.2.1 단계별 해상도

해상도가 가장 높은 1 단계에서는 기본 서브스트림의 B_i, B_r 컴포넌트 그리고 강화 서브스트림의 E_i, E_r 컴포넌트들이 모두 재생되며 1 단계보다 해상도

가 낮은 2단계에서는 기본 서브스트림의 B_i , B_r 컴포넌트와 강화 서브스트림의 B_i 컴포넌트만이 재생된다. 1단계에서 재생된 화면과 2단계에서 재생되는 화면을 비교한 결과는 그림 3과 같다. 1단계에서 캡처된 화면의 품질(그림 3의 (a))이 2단계에서 캡처된 화면(그림 3의 (b))의 품질보다 우수함을 파악할 수 있다. 1단계와 2단계에서는 초당 2개의 GOP 즉 24개의 프레임이 모두 재생되는 반면 3단계와 4단계에서는 GOP 중 I 프레임과 P 프레임만으로 구성된 기본 서브스트림이 재생되기 때문에 결과적으로 초당 6개의 프레임(I 프레임 2개, P 프레임 4개)만이 재생된다. 따라서 1, 2단계의 화면과 3, 4단계의 화면은 화질 자체에 대한 차이가 있는 것은 아니며 단지 시간적인 해상도가 달라지게 된다.

그리고 기본 서브스트림의 B_i , B_r 컴포넌트가 모두 재생되는 3단계의 화면과 기본 서브스트림의 B_i 컴포넌트만이 재생되는 4단계의 화면은 그림 3과 동일한 결과를 갖게 된다. 즉 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트가 모두 재생되는 화면은 저해상도용 컴포넌트만 재생되는 화면보다 좋은 화질을 갖게 된다.



(a) 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트가 모두 재생된 화면



(b) 저해상도용 컴포넌트만 재생된 화면

그림 3. 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트 재생시 화면 비교

4.2.2 평균 서비스 시간

실험을 위한 멀티미디어 서버는 20개의 비디오 스트림이 4개의 디스크에 배치된 상태에서 20명의 고객에게 각각 다른 비디오 스트림을 가장 높은 해상도 단계에서 서비스할 수 있는 것으로 가정한다. 각 스트림의 재생율은 24 fps(frames per sec)이며 한 GOP가 12개 프레임으로 구성되었기 때문에 서버는 각 고객에게 초당 2개의 GOP를 재생할 수 있도록 디스크에 배치된 컴포넌트들을 검색해야 한다. 본 실험에서는 컴포넌트를 구성하는 블록들이 디스크로부터 검색되는 시간을 서비스 시간이라 정의하며 라운드 시간을 1초로 설정하였다. 즉 서비스 시간이 라운드 시간보다 작거나 같을 때 비디오 스트림의 연속성이 유지되며 서비스 시간이 라운드 시간을 초과할 때는 불연속성이 발생하여 서비스 품질을 저하시키게 된다.

디스크에서 블록의 크기가 S 바이트이고 검색될 블록의 수를 M 이라 할 때 블록들을 검색하기 위한 서비스 시간 $T_{service}$ 는 다음과 같이 결정된다[8].

$$T_{service} = M \cdot (t_s + t_r) + M \cdot S \cdot t_t \quad (\text{수식 1})$$

위 수식에서 t_s , t_r , t_t 시간은 각각 디스크에 대한 탐색 시간, 회전 지연시간, 1 바이트를 전송하기 위한 시간들을 의미한다. 그러나 본 논문에서는 디스크에서 검색될 모든 블록들에 대하여 탐색 시간과 회전 지연 시간이 별도로 필요한 것이 아니다. 즉 동일한 컴포넌트에 속한 블록들은 디스크내에 인접되어 구성될 가능성이 높기 때문에 블록별로 탐색 시간과 회전 지연 시간을 계산하는 대신 컴포넌트별로 이러한 시간을 계산하게 된다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 수식에 의하여 디스크에 대한 서비스 시간 $T_{service}$ 가 결정된다.

$$T_{service} = C \cdot (t_s + t_r) + M \cdot S \cdot t_t \quad (\text{수식 2})$$

수식 2에서 C 는 액세스될 컴포넌트들의 수를 의미한다. 20명의 고객이 20개의 스트림을 가장 높은 해상도 단계인 1 단계에서 각각 재생하는 경우 각 디스크는 매 라운드마다 20개 컴포넌트에 대한 블록들을 검색해야 하며 이에 대한 평균 서비스 시간은 표 2와 같이 측정되었다.

이 실험에서는 각 스트림이 20분 동안 4개의 디스크들로부터 검색되었다. 그리고 표 2에서는 20명의 고객이 해상도를 한 단계씩 낮추어 20개의 스트림을

표 2. 해상도 수준에 따른 디스크의 평균 서비스 시간

해상도 \ 디스크	0	1	2	3
1 단계	778ms	761ms	782ms	775ms
2 단계	623ms	610ms	626ms	621ms
3 단계	497ms	489ms	501ms	495ms
4 단계	396ms	391ms	402ms	398ms

재생하는 경우에 대한 평균 서비스시간도 측정되었다. 해상도를 1단계에서 2단계로 한 단계 낮출 경우 각 스트림에 대한 컴포넌트가 4개에서 3개씩 감소하여 각 디스크별로 15개의 컴포넌트에 대한 블록들이 검색된다. 각 디스크에서 검색되는 컴포넌트들의 수는 20개에서 15개로 25%가 감소하게 되나 실제 평균 서비스 시간은 약 20% 정도 감소되는 것으로 나타났다. 이는 컴포넌트들을 구성하는 블록 수가 컴포넌트 수가 감소된 만큼 비례하여 감소되는 것이 아니며 프레임의 크기 변동성으로 인한 블록 수의 변동성에 기인한 것으로 분석된다. 마찬가지로 해상도를 2단계에서 3단계로 낮춘 경우와 3단계에서 4단계로 낮춘 경우에 대한 평균 서비스 시간도 모두 약 20% 정도 감소되는 것으로 측정되었다.

4.2.3 평균 블록 수

20명의 고객들이 20개의 스트림을 각각 20분간 재생할 경우 해상도 단계별로 각 디스크에서 라운드 시간인 1초 동안 검색된 평균 블록 수가 표 4에 기술되었다. 해상도 단계가 낮아질수록 검색되는 컴포넌트 수가 감소되며 이로 인한 디스크 블록 수가 감소되는 결과가 확인되었다. 각 컴포넌트를 구성하는 평균 블록 수들의 차이로 인하여 해상도가 1단계에서 2단계로 낮아지는 경우는 검색되는 디스크 블록 수가 약 29% 정도 감소되었다. 해상도가 2단계에서 3단계로 낮춰지는 경우에는 디스크 블록 수가 약 18.5% 정도 감소되며 해상도가 3단계에서 4단계로 되면 디스크 블록 수는 69% 정도가 감소되었다. 해상도 수준이 한 단계씩 낮아질수록 검색되는 컴포넌트들의 수가 25%씩 감소되는 것과 디스크 블록들의 수가 감소되는 비율은 비교가 된다.

본 논문의 스트라이핑 기법에서는 디스크별로 검색되는 블록 수보다는 컴포넌트의 수에 의해 디스크 서비스 시간이 결정되기 때문에 표 2에서 기술된 바와 같이 디스크별 평균 서비스 시간은 평균 블록 수

표 3. 해상도 수준에 따라 디스크별로 검색된 평균 블록 수

해상도 \ 디스크	0	1	2	3
1 단계	524.2	530.4	521.1	515.6
2 단계	380.1	372.6	365.3	367.6
3 단계	302.6	295.4	304.2	307.4
4 단계	91.2	92.3	98.7	96.2

가 감소되는 비율보다는 컴포넌트 수가 감소되는 비율에 근거하여 시간이 감소되는 결과가 나타났다.

4.2.4 서비스되는 고객의 수

20명의 고객이 20개의 비디오 스트림을 1단계 해상도에서 검색하는 경우와 2단계에서 검색하는 경우에 대한 평균 서비스 시간은 실제 측정 결과 20% 정도의 차이가 나타났다. 이상적인 경우 20명의 고객이 해상도를 한 단계 낮추면 검색되는 컴포넌트 수가 25% 정도 감소하므로 20명에서 25% 추가된 5명의 고객들에 대한 비디오 스트림의 재생 요구를 수용할 수 있을 것으로 예상되나 실제 측정 결과 평균 서비스 시간은 20% 정도 감소되므로 20%에 해당하는 4명의 요구만을 추가로 충족시킬 수 있다. 이 실험에서는 20개의 스트림 외에 다른 20개의 스트림을 컴포넌트별로 구성하여 디스크에 배치하였다. 20명의 고객에서 추가된 고객은 기존의 스트림이 아닌 새로 구성된 스트림의 재생을 요구하게 된다.

실험 결과 2단계 해상도 수준에서 추가된 5명의 요구를 수용하면 서비스 시간이 라운드 시간인 1000ms 즉 1초를 초과하는 경우가 자주 발생하게 되어 비디오 스트림 재생시 불연속성이 존재하게 된다.

연속적인 비디오 스트림의 재생을 보장하기 위하여 해상도를 한 단계씩 낮출 경우 추가로 수용할 수 있는 고객의 수는 약 20%씩 증가시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 표 3에서 고객의 수가 단계별로 25%씩 증가하는 것은 이상적인 결과로 Ideal 경우에 해당되며 실제 실험 결과는 약 20%씩 증가된 Actual

표 4. 해상도 수준에 따라 증가된 고객의 수

해상도 \ 경우	1 단계	2 단계	3 단계	4 단계
Ideal	20	25	31	38
Actual	20	24	28	33

경우로 표현된다. 즉 해상도 수준을 한 단계씩 낮출수록 비디오 스트림의 재생을 요구하는 고객의 수를 이전 단계의 해상도보다 약 20%씩 증가시킬 수 있다.

5. 결 론

다중 해상도를 갖는 MPEG-1 비디오 스트림을 구성하기 위하여 각 비디오 스트림은 기본 서브스트림과 강화 서브스트림으로 분리되고 각 서브스트림은 다시 저해상도용 컴포넌트와 잔여 컴포넌트로 분리된다. 각 스트림은 4개의 컴포넌트로 분리되며 해상도 수준이 가장 높은 1단계에서는 4개의 컴포넌트들이 디스크에서 검색되며 해상도 수준을 한 단계씩 하향 조정할 때마다 검색되는 컴포넌트가 1개씩 감소하게 된다. 가장 낮은 해상도 수준인 4단계에서는 각 스트림마다 한 개의 컴포넌트만(기본 스트림의 저해상도용 컴포넌트)이 디스크로부터 검색된다. 각 스트림의 컴포넌트들을 디스크 배열내에 라운드 로빈 방식으로 배치함으로써 특정 디스크에 과부하가 발생하는 현상을 최소화하고자 하였다.

본 논문에서는 컴포넌트로 구성된 비디오 스트림이 디스크 배열의 각 디스크에서 검색되는 결과만 기술하고자 디스크에 대한 성능 분석에 집중하였다. 반면 버퍼, CPU 등에 자원은 충분한 것으로 가정하였으며 이에 대한 구체적인 실험 환경은 고려되지 않았다. 재생되는 비디오 스트림의 해상도 수준을 단계별로 낮출 경우 각 디스크마다 검색되는 컴포넌트들의 수가 감소되어 평균 서비스 시간이 약 20%씩 감소되었다. 따라서 동시에 서비스할 수 있는 고객들의 수는 해상도 수준을 한 단계씩 하향 조정할 때마다 감소된 평균 서비스 시간의 비율인 20%만큼 증가시킬 수 있다. 해상도 수준이 낮아질수록 디스크에서 검색되는 블록의 수가 감소되긴 하나 이 비율이 평균 서비스 시간의 감소율과는 다르다. 이는 한 컴포넌트를 구성하는 블록의 수가 프레임들의 크기 차이로 인하여 변동되기 때문인 것으로 분석되었다. 본 논문에서는 다중 해상도 비디오 스트림을 디스크 배열에 배치함으로써 해상도 수준을 낮출 경우 동시에 서비스할 수 있는 고객들의 수를 증가시킬 수 있고 일시적으로 서버에 과부하가 발생한 경우에도 해상도 수준을 낮추어서 고객들에게 일정한 재생율이 보장되는 스트라이핑 기법이 제시되었으며 이에 대한 성능 분석

결과가 기술되었다.

참 고 문 헌

- [1] P. Shenoy, P. Goyal, and H.M. Vin, Architectural considerations for next generation file systems, *In Proc. of the ACM Multimedia*, pp. 457-468, Nov. 1999.
- [2] P. Shenoy and H.M. Vin, Failure recovery algorithms for multimedia servers, *ACM Multimedia Systems Journal*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-19, January 2000.
- [3] P. Cao, et al., The tickerTAIP parallel RAID architecture, *In Proc. of the 1993 Int'l Symp. on Computer Architecture*, pp.52-63, May 1993.
- [4] M.L. Liou, Overview of the p * 64 kbps video coding standard, *Communications of ACM*, Vol. 34, No. 4, pp. 59-63, 1991.
- [5] D.L. Gall, MPEG: A video compression standard for multimedia applications, *Communications of ACM*, Vol. 34, No. 4, pp.46-58, 1991.
- [6] John Watkinson, MPEG Handbook, Butterworth-Heinemann, Oct. 2001.
- [7] 조진성, 신현식, MPEG-1 스트림의 재구성을 통한 시간적 다중해상도 비디오 재생 기법, *한국정보과학회 논문지(C)*, 4권 4호, 1998.
- [8] P. Shenoy and H.M. Vin, Efficient striping techniques for multimedia file Servers, *Performance Evaluation Journal*, Vol. 38, pp. 175-199, 1999.
- [9] P. Shenoy and H.M. Vin. Efficient support for interactive operations in multi-resolution video servers, *ACM Multimedia Systems Journal*, Vol. 7, No. 3, pp. 241-253, May 1999
- [10] D. J. Gemmel, et al., Multimedia storage servers: a tutorial, *IEEE Computer*, Vol. 28, No. 5, pp.40-49, 1995.
- [11] OptiVideo MPEG compression, *MPEG-i Encoder User's Guide*, OptiVision, Inc., 1995.
- [12] H. Schwetman, CSIM: a C-based, process-

oriented simulation language, *Winter Simulation Conference*, pp.387-397, 1986.



김진환

1986년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사)

1994년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사)

1994년~1996년 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원

1995년~현재 한성대학교 컴퓨터공학부 부교수

관심분야: 멀티미디어 시스템, 분산 실시간 시스템

교신저자

김진환 136-792 서울 성북구 삼선동2가 389 한성대학교 컴퓨터공학부