

4 단계의 해상도를 갖는 MPEG 비디오 스트림의 엔코딩 방법과 디스크 스트라이핑 방법

김진환*, 송용호**
*한성대학교 컴퓨터공학부, **한양대학교 정보통신대학

Encoding and Disk Striping Methods of MPEG Video Streams with Four Level Resolution

Jinhwan Kim*, Yongho Song**
*School of Computer Engineering, Hansung University
**College of Information and Communications, Hanyang University

요 약

MPEG 비디오 스트림의 시간적 차원과 색상적 차원을 고려하여 모두 4 단계의 해상도가 구성되는 엔코딩 기법과 디스크 배열에 대한 스트라이핑 기법이 본 논문에서 제시된다. 먼저 MPEG-1 스트림은 I 프레임과 P 프레임으로 구성된 서브스트림과 B 프레임만으로 구성된 서브스트림으로 분할된다. 분할된 서브스트림의 각 프레임은 색상 차원에서 저해상도용 컴포넌트와 고해상도용 컴포넌트로 다시 분리된다. 따라서 한 MPEG 비디오 스트림은 4 개의 컴포넌트로 구성되며 각 컴포넌트를 구성하는 블록들이 디스크 배열에 연속적으로 저장되는 스트라이핑 기법이 기술된다. 즉 4 개의 컴포넌트가 모두 재생될 경우 해상도가 가장 높게 나타나며 재생되는 컴포넌트의 수가 1 개씩 감소될수록 1 단계씩 낮은 해상도가 유지된다. 4 단계의 해상도를 구성하는 본 논문의 엔코딩 기법과 디스크 배열을 위한 스트라이핑 기법은 멀티미디어 서버의 성능을 향상시킬 수 있으며 이에 대한 시뮬레이션 결과가 기술된다.

1. 서론

멀티미디어 정보 서비스를 수행하는 서버는 방대한 양의 데이터를 효율적으로 처리하고 저장하기 위하여 디스크 배열 장치를 이용하는 저장 기법과 압축 기술이 필요하다[1-3]. 현재 동영상 서비스를 위한 MPEG[4] 압축 기법이 세계적인 표준으로 사용되고 있다. 그러나 MPEG-2, MPEG-4 기법과는 달리 현재 MPEG-1 비디오 스트림에서는 다양한 해상도가 제공되지 못하고 있다[5]. 본 논문에서는 MPEG-1 비디오 스트림을 시간과 공간의 중복성을 이용하여 4 단계의 해상도를 가질 수 있는 엔코딩 기법과 해상도 단계별로 분리된 비디오 서브스트림을 디스크 배열의 각 디스크에 저장하며 배치하는 기법을 제시한다.

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 엔코딩 기

법이 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 디스크 평균 서비스 시간과 검색되는 블록 수가 감소되는 실험 결과가 기술된다.

2. 4 단계 해상도를 위한 엔코딩 기법

압축이 수행된 MPEG-1 비디오 스트림은 계층 구조상 일정 개수의 픽처 또는 프레임들로 구성된 GOP(group of picture) 층이 형성된다[5]. 이 GOP 층은 I, P, B, D 프레임 등의 픽처들이 저장되며 임의로

접근할 수 있는 단위가 된다. 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[6].

MPEG-1 비디오 스트림을 색도와 공간의 차원에서 다중 해상도를 구비할 수 있는 요건은 DCT(discrete cosine transform) 계수를 이용하여 데이터를 분할하는 것이다[6]. 본 논문에서는 기본 서브스트림의 I 프레임과 P 프레임은 물론 강화 서브스트림의 B 프레임도 각각 2 개의 컴포넌트로 구성한다. 각 프레임의 모든 8*8 블록의 DCT 계수중 20 개를 저해상도용 컴포넌트로 구성하고 나머지 44 개 계수를 고해상도용 컴포넌트로 구성하는 엔코딩 기법이 사용된다. 실제로 저해상도용 컴포넌트는 1 개의 DC 계수(1번 계수)와 19개의 AC 계수(2번부터 20번 계수)가 지그재그 패턴으로 구성된다. 21번부터 64번까지 44개의 AC 계수들은 고해상도용 컴포넌트로 구성된다.

본 논문의 엔코딩 기법에서는 기본 서브스트림을 구성하는 I와 P 프레임에 해당하는 모든 8*8 블록들의 저해상도용 컴포넌트를 BL로 정의하며 고해상도용 컴포넌트는 BH로 각각 정의한다. 그리고 강화 서브스트림을 구성하는 B 프레임에 해당하는 모든 8*8 블록들의 저해상도용 컴포넌트와 고해상도용 컴포넌트는 EL과 EH로 각각 정의한다. 따라서 각 서브스트림은 저해상도용 컴포넌트와 고해상도용 컴포넌트로 구성되기 때문에 임의의 비디오 스트림은 모두 4개의 컴포넌트로 분할되어 4 단계의 해상도를 제공하게 된다. 해상도가 가장 높은 1 단계에서는 두 개의 서브스트림을 구성하는 BL, BH, EL, EH 컴포넌트들이 모두 재생되며 다음 단계인 2 단계에서는 기본 서브스트림의 BL, BH 컴포넌트와 강화 서브스트림의 EL 컴포넌트만이 재생된다. 그리고 3 단계에서는 기본 서브스트림인 BL, BH 컴포넌트들만이 재생된다. 가장 해상도가 낮은 4 단계에서는 기본 서브스트림의 BL 컴포넌트만이 재생된다.

3. 디스크 배열에 대한 스트라이핑 기법

이 절에서는 4 단계 해상도를 가진 비디오 스트림을 디스크 배열에 인터리빙(interleaving)하고 서버로

하여금 해상도 단계별로 비디오 스트림들을 재생할 수 있는 효율적인 배치(placement) 기법을 기술한다. 이 기법은 비디오 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[7].

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. 본 논문에서 각 디스크 블록은 동일한 크기로 구성되는 것을 가정한다.

본 절에서는 비디오 스트림의 수를 양의 정수 N 으로 가정하며 임의의 스트림 i 에 대한 4 개의 컴포넌트를 각각 BL_i , BH_i , EL_i , EH_i 로 정의한다. 디스크 배열의 디스크 수를 양의 정수 D 라 할 때 스트림 i 의 BL_i 컴포넌트는 $i \bmod D$ 디스크에 저장되고 BH_i 컴포넌트는 $(i + 1) \bmod D$ 디스크, EL_i 컴포넌트는 $(i + 2) \bmod D$ 디스크, EH_i 컴포넌트는 $(i + 3) \bmod D$ 디스크에 각각 저장된다. 그리고 n 번째 라운드동안 재생될 스트림 i 의 컴포넌트들을 본 논문에서 세그먼트 컴포넌트라 정의하며 $BL_i(n)$, $BH_i(n)$, $EL_i(n)$, $EH_i(n)$ 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.

한편 고정된 크기의 디스크 블록을 사용함으로써 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 라운드에서 수행될 세그먼트 컴포넌트가 구성된 방식은 다음과 같이 기술된다.

첫째, 양의 정수 i 를 4로 나눈 나머지가 0이라고 가정

하면 스트림 i 의 $BL_i(n)$ 세그먼트 컴포넌트는 디스크 0에 저장되며 나머지 $BH_i(n)$, $EL_i(n)$, $EH_i(n)$ 컴포넌트들은 차례로 디스크 1, 디스크 2, 디스크 3에 각각 저장된다.

둘째, 스트림 $i+1$ 의 $BL_{i+1}(n)$ 세그먼트 컴포넌트는 라운드 로빈 방식을 이용하여 디스크 1에 저장되며 $BH_{i+1}(n)$, $EL_{i+1}(n)$, $EH_{i+1}(n)$ 컴포넌트들은 디스크 2, 디스크 3, 디스크 0에 차례로 저장된다.

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

4. 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

MPEG-1 스트림의 경우 프레임 간의 크기 비율은 스트림의 종류에 따라 다르다. 영화의 경우 I, P, B 프레임 간의 평균 크기 비율은 8.2:2.1:1로 나타난 바 있다[8]. 본 논문에서도 이 비율을 고려하여 I 프레임, P 프레임, B 프레임의 평균 크기를 41000 바이트, 10500 바이트, 5000 바이트로 설정하였다. 20개의 MPEG-1 영화 스트림을 실제로 사용하는 대신 난수 생성기(random number generator)를 사용하였으며 평균 80% 범위내에서 각 프레임의 크기가 결정되도록 하였다. 본 실험에서 한 GOP는 매개변수 $N=12$, $M=4$ 를 이용하여 I 프레임 1개, P 프레임 2개, B 프레임 9개가 구성되며 프레임들은 IBBBBBBBBBBB 순서가 된다. 각 스트림은 4 개의 컴포넌트로 분리되며 3.2절에서 기술된 방식에 의하여 4 개의 디스크에 배치되었다.

해상도가 가장 높은 1 단계에서는 기본 서브스트림의 BL, BH 컴포넌트 그리고 강화 서브스트림의 EL, EH 컴포넌트들이 모두 재생되며 1 단계보다 해상도가 낮은 2 단계에서는 기본 서브스트림의 BL, BH 컴포넌트와 강화 서브스트림의 EL 컴포넌트만이 재생된다. 그리고 3 단계에서는 기본 서브스트림의 BL, BH 컴포넌트가 모두 재생되며 4 단계에서는 기본 서브스트림의 BL 컴포넌트만이 재생된다.

4.2 평균서비스시간

실험을 위한 멀티미디어 서버는 20개의 비디오 스트림이 4 개의 디스크에 배치된 상태에서 20명의 고객

에게 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 검색한다. 본 실험에서는 컴포넌트를 구성하는 블록들이 디스크로부터 검색되는 시간을 서비스 시간이라 정의하며 한 라운드 시간을 1 초로 설정하였다.

20명의 고객이 20개의 스트림을 가장 높은 해상도 단계인 1 단계에서 각각 재생하는 경우 각 디스크는 매라운드마다 20개 컴포넌트에 대한 블록들을 검색해야 하며 이에 대한 평균 서비스 시간은 표 1과 같이 측정되었다. 이 실험에서는 각 스트림이 20분 동안 4개의 디스크들로부터 검색되었다. 그리고 표 1에서는 20명의 고객이 해상도를 한 단계씩 낮추어 20개의 스트림을 재생하는 경우에 대한 평균 서비스 시간도 측정되었다. 해상도를 1 단계에서 2 단계로 한 단계 낮출 경우 각 스트림에 대한 컴포넌트가 4개에서 3개씩 감소하여 각 디스크 별로 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 2 단계에서 3 단계로 낮춘 경우와 3 단계에서 4 단계로 낮춘 경우에 대한 평균 서비스 시간도 모두 약 20% 정도 감소되는 것으로 측정되었다.

표 1. 해상도 단계별 평균 서비스 시간(ms)

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

4.3 평균블록수

20명의 고객들이 20개의 스트림을 각각 20분간 재생할 경우 해상도 단계별로 각 디스크에서 라운드

시간인 1초 동안 검색된 평균 블록 수가 표 2에 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 1 단계에서 2 단계로 낮아지는 경우에는 검색되는 디스크 블록 수가 약 29% 정도 감소되었다. 해상도가 2 단계에서 3 단계로 낮아지는 경우에는 디스크 블록 수가 약 18.5% 정도 감소되며 해상도가 3 단계에서 4 단계로 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.

표 2. 해상도 단계별로 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

본 논문의 스트라이핑 기법에서는 디스크별로 검색되는 블록 수보다는 컴포넌트의 수에 의해 디스크 서비스 시간이 결정되기 때문에 표 1에서 기술된 바와 같이 디스크별 평균 서비스 시간은 평균 블록 수가 감소되는 비율보다는 컴포넌트 수가 감소되는 비율에 근거하여 시간이 감소되는 결과가 나타났다.

5. 결론

다중 해상도를 갖는 MPEG-1 비디오 스트림은 4개의 컴포넌트로 분리되며 해상도 수준이 가장 높은 1 단계에서는 4개의 컴포넌트들이 디스크에서 검색되며 해상도 수준을 한 단계씩 하향 조정할 때마다 검색되는 컴포넌트가 1개씩 감소하게 된다. 가장 낮은 해상도 수준인 4 단계에서는 각 스트림마다 한 개의 컴포넌트만(기본 스트림의 저해상도용 컴포넌트)이 디스크로부터 검색된다 [2]. 각 스트림의 컴포넌트들을 디스크 배열내에 라운드 로빈 방식으로 배치함으로써 특정 디스크에 과부하가 발생하는 현상을 최소화하고자 하였다.

재생되는 비디오 스트림의 해상도 수준을 단계별로 낮출 경우 각 디스크마다 검색되는 컴포넌트들의 수가 감소되어 평균 서비스 시간이 약 20%씩 감소되었다. 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 재생율을 보장하는 스트라이핑 기법이 제시되었다.

[참고문헌]

- [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]D.L. Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications," *Communications of ACM, Vol. 34, No. 4*, pp.46-58, 1991.
- [5]John Watkinson, *MPEG Handbook*, Butterworth-Heinemann, Oct. 2001.
- [6]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.
- [7]P. Shenoy and H.M. Vin, "Efficient striping techniques for multimedia file Servers," *Performance Evaluation Journal, Vol. 38*, pp. 175-199, 1999.
- [8]"OptiVideo MPEG compression," *MPEG-1 Encoder User's Guide*, OptiVision, Inc., 1995.