

# 주문형 비디오 서비스 시스템에서의 정방향 및 역방향 빠른재생 기능구현

正會員 권 은 정\*, 최 영 진\*, 김 형 명\*

## Implementation of Fast Forward & Reverse Function in Video On Demand Service System

EunJung Kwon\*, YoungJin Choi\*, HyungMyung Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 주문형 비디오 서비스 시스템에서 서비스 사용자에게 정방향 및 역방향 빠른재생 기능을 제공하는 방식을 제안한다. 제안된 방식에서는 MPEG2 비트열로부터 I 및 P picture를 표본화하여 명령처리에 사용한다. 명령수행에 적합한 새로운 프레임 속도가 계산되고, 표본화된 I 및 P picture의 비트수를 줄이기 위해 가변길이 역부호화(VLD), 역양자화 및 양자화의 과정을 거친다. 제안된 방식은 부가적인 대역폭과 큰 용량의 저장매체를 요구하지 않고 명령수행이 가능하므로 경제적이다.

### ABSTRACT

We propose a new scheme to provide the fast forward and reverse(FF/R) functions to users in Video On Demand Service System. The proposed scheme is to use only I and P pictures obtained by sampling MPEG2 bit-stream. New frame rates for FF/R play are specified with parameters of MPEG2 syntax. Bits of I and P pictures are reduced in three steps: Variable length decoding(VLD), Inverse quantization and Requantization. The proposed scheme is economical in the sense that it can provide FF/R function without any additional requirement on the bandwidth and on the storage media in video server.

### I. 서 론

주문형 비디오(VOD: Video On Demand) 서비스는

서비스 이용자의 요구에 따라 영화나 뉴스 등의 영상 기반 서비스를 전화선이나 케이블 등을 통해 제공하는 새로운 개념의 영상 서비스 사업으로 서비스 제공자, 전달시스템, 서비스 사용자로 구성된다. VOD는 시청자가 원하는 시간에 원하는 프로그램을 선택하여 시청할 수 있도록 하는 새로운 기능을 제공한다.

\*한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
論文番號: 97003-0106  
接受日字: 1997年 1月 6日

여기에 VCR(Video Cassette Recorder)이 제공하는 재생, 일시정지/재시작(pause/resume), 정지, 정방향 및 역방향 빠른재생(FF/R), 느린재생 기능과 Video CD 나 Digital Video Disk 등에서 제공하는 다른 장면으로 건너뛰기(jump) 기능도 제공되어야 한다[1].

VOD에서 제공되는 VCR 기능 중 FF/R 기능은 MPEG2 규격으로 부호화된 영상특성인 picture간의 종속성으로 그 구현이 복잡하다[2]. MPEG 시스템에서 정의하고 있는 PES(Packetized Elementary Stream) 패킷 헤더의 DSM(Digital Storage Media) trick mode 정보와 DSM\_CC(Command Control)에서 빠른재생을 위해 정의하고 있는 정보만을 이용하여 빠른재생 명령을 수행하는 경우, 화질이 저하되거나 대역폭의 증가가 요구된다.

본 논문에서는 별도의 비트열을 저장하지 않고 사용자 서비스 제공자간에 설정된 대역폭내로 I 및 P picture를 이용한 FF/R 명령을 수행하는 방식을 제안한다. 제안된 방식에서는 서비스 제공자측에 명령수행을 위해 추가된 데이터 처리과정을 거친 MPEG2 비트열을 사용자측에 전송함으로써 명령수행을 위한 사용자측의 부가적인 부담을 없도록 하였다. 또한 서비스 제공자측에 FF/R 명령처리를 위해 추가해야 할 데이터 처리과정의 계산 복잡도를 최소화함으로써 서비스 제공자측의 부담을 최소화하였다.

## II. FF/R 명령처리

비디오, 오디오 및 부가 데이터를 동기를 맞추면서 다중화하여 하나의 비트열로 출력하는 것에 대한 표준안이 MPEG 시스템이다[3]. MPEG 시스템에서 FF/R 명령처리는 다음과 같이 이루어진다. 다중화는 PES 패킷과 TS(Transport Stream)에 의한 2계층 구조를 기본으로 한다. PES 패킷 헤더에 있는 DSM trick mode flag 값이 '1'로 주어진 경우, trick mode control 값이 '000'이면 FF(fast forward), '011'이면 FR(fast reverse) 명령수행에 따른 비디오 비트열이 PES 패킷에 전송됨을 알린다. FF/R 명령수행에 필요한 비디오 비트열은 frequency truncation 값에 의해 한 블럭내의 64개의 DCT(Discrete Cosine Transform) 계수 중 DC 값만으로 구성되거나('00') 3개('01') 혹은 6개('10')의 DCT 계수만으로 구성될 수 있다.

DSM\_CC에서는 MPEG1, MPEG2 비트열을 처리하기 위한 제어합수 및 동작을 위한 프로토콜 규격을 정의하고 있다[4]. DSM\_CC에서의 FF/R 명령처리는 아날로그 VCR에서처럼 정상속도 재생때보다 빠른 속도로 전송된 비트열을 빠른 속도로 재생하도록 함으로써 명령을 수행하도록 한다. 이러한 경우, N배의 FF/R 명령처리를 위해 N배 증가된 대역폭이 전송로에 필요하고 사용자측에 많은 데이터의 빠른 처리를 요구하는 부담을 준다. 명령처리에 적합한 대역폭을 할당받는 방법이 여러가지로 제시되고 있으나, 대역폭을 할당받는 동안, 응답지연이 발생하고 대역폭을 할당받지 못하는 경우에는 설정된 대역폭으로의 명령수행을 위해 전송할 데이터의 손실을 감수하여야 하므로 명령수행동안 화질의 저하가 발생된다[5]. 또한, FF/R 명령처리를 위한 전송 및 처리 데이터를 줄이기 위해 PES 패킷에 정의된 frequency truncation 값으로 DCT 계수 중 일부만 이용할 수도 있으나, 이 경우에도 화질의 저하가 발생한다. 표 1은 SIF pingpong 영상을 전송속도 2Mbps의 MPEG2 규격으로 부호화할 때, DC, 3개 및 6개의 DCT 계수만을 이용한 경우의 화질저하정도를 나타낸다. 실제로도 블러킹 현상이 현저하게 나타났다.

표 1. DCT 계수 선택에 따른 PSNR 차이

PSNR차이(dB)	avg.	Max.	Min.
DC	13.186	17.585	7.544
3개의 coeff.	12.043	16.548	6.601
6개의 coeff.	10.867	15.560	4.660

한편, 서비스 제공자와 사용자간에 설정된 대역폭 내에서 FF/R 명령을 수행하기 위해 디지털 VCR에서처럼 명령처리에 적합하게 부호화된 별도의 비트열을 저장하고 있는 방식이 있다. 이 방식은 별도의 비트열을 저장하기 위해 서비스 제공자측이 대용량의 저장매체를 구비해야 하며, 다양한 배속을 지원하기 어렵다. 현재 시중에 나와있는 CD ROM 영화에서는 빠른재생 명령버튼을 누르고 있는 동안 정상속도로 화면이 재생되다가 명령이 끝나면 그 화면으로 건너뛰기(jump)하는 것으로 빠른재생 명령을 대체하고 있다[6]. 이 방식에서는 빠른재생을 통한 화면탐색

을 할 수 없으므로 VOD에서의 FF/R 명령처리를 위한 방법으로 대처되는데는 문제가 있다.

### Ⅲ. I 및 P picture를 이용한 FF/R 명령처리

#### 1. I picture를 이용한 FF/R 명령처리 방식제안

부가적인 대역폭과 큰 용량의 저장매체를 요구하지 않고 FF/R 명령을 수행하기 위해서는 배속에 적합한 비트열을 표본화하여 전송하는 방법이 있다. 가령, 3배속의 FF/R 명령수행을 위해 2 picture씩 건너뛰면서 전송하여 화면을 재생하면 된다. 그러나, 이 경우 MPEG2 picture간의 종속성을 고려해 주어야 한다. 그림 1과 같은 GOP(Group of pictures) 구조에서 3배속의 FF 명령을 수행하려면 B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub>, ... picture들을 재생해야 한다. B<sub>5</sub> 및 B<sub>8</sub> picture는 각각 P<sub>4</sub>, P<sub>7</sub> 및 P<sub>7</sub>, P<sub>10</sub> picture를 참조하여 예측된 데이터로 구성되어 있으므로 이 picture들을 복호하기 위해서는 P<sub>4</sub>, P<sub>7</sub>, 및 P<sub>10</sub> picture들도 전송되어 복호되어야 한다. 결국 N배속의 FF/R 명령수행을 위해 N-1 picture씩 건너뛰는 picture들만 전송하여 독립적으로 복호, 재생한다는 것은 불가능하다.

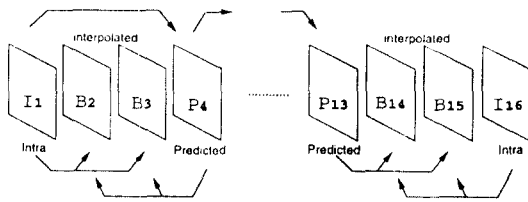


그림 1. GOP 구조

MPEG2 부호화 특성인 picture간의 종속성으로 인한 문제를 해결하기 위한 방법으로 GOP를 FF/R 명령수행의 표본화 단위로 생각할 수 있다. 즉, N배속 FF/R 명령에서는 매 N번째 GOP를 복호, 재생하는 것이다. 그러나, 일반적으로 GOP가 10-15개의 picture들로 구성되므로 화면의 연속성이 현저하게 떨어지는 현상이 발생한다. 또한 GOP내의 picture들은 picture간의 종속성으로 인해 정방향으로 재생되므로 FR 명령수행에서 그림 2와 같이 zig-zag 움직임이 발생한다[7].

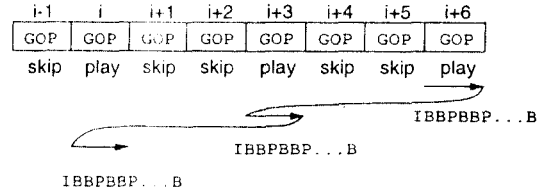


그림 2. FR에서의 zig-zag 움직임

이 논문에서는 사용자와 제공자간에 정상속도 재생에 적절하게 설정된 대역폭으로 FF/R 명령수행을 위해 별도의 비트열을 저장하지 않고 명령요구시 MPEG2 비트열로부터 I picture만을 표본화하여 명령을 수행하는 방법을 제안하고자 한다. I picture를 표본화하기 위해서는 비디오 비트열의 picture 헤더에 정의된 picture coding type 정보가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 그림 3과 같이 서비스 제공자가 비디오 및 오디오 비트열을 저장매체에 저장하고 있다 사용자가 서비스 요구시에는 비디오 및 오디오 비트열을 다중화하여 전송하고, FF/R 명령요구시에는 명령수행에 적합한 처리과정을 거친 비디오 비트열만 다중화하여 전송하는 구조로 가정한다.

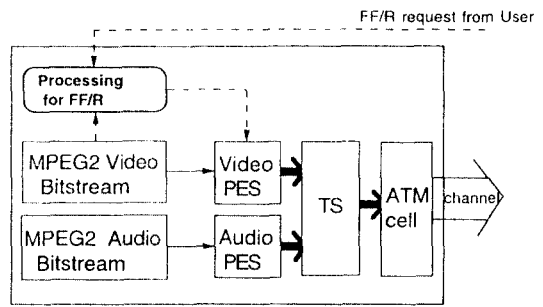


그림 3. 제안된 서비스 제공자 구조

그림 4에 MPEG2 비트열로부터 표본화한 I picture를 각 배속에 적합한 시각에 재생하도록 하는 FF/R 명령수행 방식을 보였는데, 여기에서는 GOP가 15개의 picture로 구성되어 있고 정상속도 재생에서 초당 30프레임을 재생한다고 가정하였다.

15배속 이상인 경우는 화면재생시 내용파악보다는



는 경우, 프레임간의 종속성으로 FR에는 적합하지 않다. 사용자가 FR 명령을 요구하는 경우 화면탐색 보다는 화면되감기 기능을 요구하는 경우가 많으므로, FR 명령은 I picture만 이용하여 7배속 이상으로 수행하도록 한다.

이 논문에서는 MPEG2의 GOP 구조 중에서 가장 일반적인 N=15, M=3인 구조를 가정하였다. 일반적으로 GOP 구조는 고정된 구조가 아니다. 따라서, 다른 GOP 구조에 대한 재생 정책이 요구된다. 이는 각 GOP 구조에 대해 위에서 제안한 방식을 적용하여 명령수행에 적절한 데이터를 서비스 제공자가 미리 저장하고 있는 방식으로 해결할 수 있다. 빠른 재생 명령수행에 필요한 데이터는 각 배속에 따라 새로운 frame rate를 결정하는 fren 및 fred 값과 화면 재생속도를 15프레임 이상으로 하기 위한 P picture의 갯수이다.

2.2 재양자화(Requantization) 과정을 이용한 비트 수 감소방법

설정된 대역폭내에서 명령수행을 하기 위해 I 및 P picture의 비트수를 줄여야 한다. 그림 5와 같이 VLD를 거쳐 구한 DCT 계수를 설정된 대역폭내에서 전송이 가능하도록 계산된 양자화 스텝 크기로 다시 양자화한다.

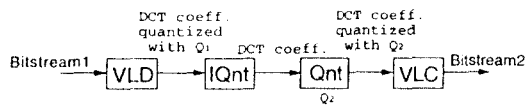


그림 5. Requantization

10개의 CCIR601 football 영상을 166MHz의 펜티엄 프로세서를 사용하여 MPEG2로 부호화할 때, 각 과정에서 소요되는 시간은 표 4와 같이 측정되었다.

표 4. Times used for MPEG2 encoder(sec)

	ME/MC	DCT	Inv.Q	IDCT	Others
Time	56	14	2	2	2.45
백분율	73.3	18.3	2.6	2.6	3.2

I 및 P picture를 IDCT 과정까지 거쳐 원영상으로

복원한 후 새로운 양자화 스텝 크기를 이용하여 다시 부호화할 때, 비트수 감소에 따른 화질의 저하를 최소화할 수는 있으나, DCT 및 IDCT에 소요되는 시간과 구현시 복잡도로 인해 서비스 제공자측에 부담을 줄 수 있다. 한편, 역양자화를 거치지 않고 VLD 과정만으로 구한 양자화 계수를 새로운 양자화 스텝 크기로 재양자화하는 방법에서는 최소 4.8dB까지의 화질 저하가 발생한다[8]. 표 4에 보인바와 같이 역양자화 과정에서 소요되는 시간은 전체 소요시간의 2-3%에 지나지 않기 때문에, 화질개선을 위해 이 과정을 추가하는 것이 서비스 제공자측에 큰 부담은 주지 않을 것으로 예상된다.

MPEG2 TM5의 전송률제어(rate control) 개념에 따라 타겟비트수를 설정된 대역폭에 적합하게 새로 설정함으로써 새로운 양자화 스텝 크기를 구할 수 있다[9]. MPEG2에서는 GOP 구조상 화질을 고려하여 I, P, B picture의 타겟비트수를 다르게 할당한다. I picture만 표본화하여 7배속 이상의 FF/R 명령처리에 사용하는 경우, 모든 I picture에 동일한 타겟비트수를 할당한다.

$$T_i = \frac{\text{bit rate}}{\text{frame rate}} \tag{2}$$

I 및 P picture를 표본화하여 2배속 이상, 6배속 이하의 FF 명령처리에 사용하는 경우, I picture가 P picture 화질에 영향을 미친다는 사실을 고려하여 타겟비트수를 다르게 할당한다.

$$T_i = \max \left\{ \frac{R}{1 + \frac{N_p X_p}{X_i}}, \frac{\text{bit rate}}{8 \times \text{frame rate}} \right\}$$

$$T_p = \max \left\{ \frac{R}{N_p}, \frac{\text{bit rate}}{8 \times \text{frame rate}} \right\} \tag{3}$$

여기서, 프레임 속도는 2.1절에서 각 배속에 적합하게 구한 값이다. R은 GOP에 할당된 비트수에서 부호화에 사용되고 남은 비트수이다. N<sub>p</sub>는 부호화 순서에 따라 현재 picture 이후의 GOP내에 남아있는 P picture의 갯수이다. X<sub>i</sub>, X<sub>p</sub>는 전체복잡도(global complexity measure)를 나타낸다. 새로 정의된 타겟비트수와 버퍼의 상태를 고려하여 양자화 기준값(Q)을 구할 수 있고, 이 값은 사람의 눈이 변화가 적은 영역의 영

상에서 발생한 왜곡에 훨씬 민감하다는 사실이 고려된 활성도(activity)값과의 곱으로, 양자화 스텝 크기를 결정하는 MQUANT값이 계산된다. j번째 매크로블럭의 활성도는 원영상의 픽셀값들로부터 계산된다. 직교변환의 variance 보존성질을 이용하면, I 및 P picture의 VLD 및 역양자화 과정을 거친 DCT 계수로도 활성도를 구할 수 있다[10]. 즉, 활성도 계산에 필요한 블럭의 variance와 평균치는 아래처럼 구할 수 있다.

$$var\_sblk = \frac{1}{64} \sum_{n=1}^{64} (p(n) - \hat{p}_{mean})^2$$

$$= \frac{1}{64} \sum_{n=1}^{64} p^2(n) - \hat{p}^2_{mean}$$

$$\sum_{n=1}^{64} p^2(n) = \sum_{k=1}^{64} \theta^2(k)$$

$$\hat{p}_{mean} = \frac{1}{8} F(0, 0) \quad (4)$$

여기서,  $p(n)$ 은  $8 \times 8$  블럭내의 원영상의 픽셀값  $f(x, y)$ 를 행순서로 나열한 벡터이고,  $\theta(k)$ 는  $f(x, y)$ 의 2차원 DCT 계수인  $F(u, v)$ 를 행순서로 나열한 벡터이다. 제안된 방식으로 FF/R 명령수행을 위해 서비스 제공자가 갖추어야 할 데이터 처리과정은 그림 6과 같다.

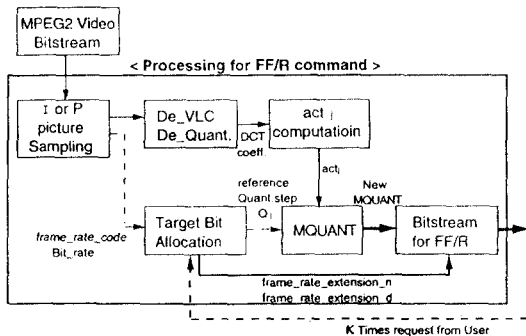


그림 6. 제안된 FF/R 명령처리

#### IV. 실험결과 및 분석

제안된 방식에서는 FF/R 명령처리를 위해 별도의 비트열을 저장하고 있을 필요가 없다. 서비스 제공자는 원영상을 정상속도 재생에 맞추어 설정된 대역폭

내로 전송이 가능하도록 각 배속에 따라 부호화한 별도의 비트열을 저장하고 있을 수 있다. 이러한 경우를 'stored'라 하고, 제안된 방식('proposed')과 각 배속에서의 객관적 화질을 비교하기 위하여 다음에 정의된 PSNR을 구하였다.

$$PSNR = 10 \log \left( \frac{255^2}{\frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |x(i, j) - \hat{x}(i, j)|^2} \right) [dB] \quad (5)$$

표 5에 'stored'와 제안된 방식의 PSNR 차이 ( $PSNR_{stored} - PSNR_{proposed}$ )를 나타내었다. 'stored'에서는 4:2:0 SIF 표준영상인 pingpong을 2Mbps로 각 배속에 적합한 프레임 속도로 부호화하였다. 'proposed'에서는 pingpong 영상을 초당 30프레임, 2Mbps로 부호화한 MPEG2 비트열로부터 I 및 P picture를 표본화하여 제안된 과정을 거쳐 설정된 대역폭에 맞게 비트수를 감소시켰다.

표 5. (a) PSNR 차이(I, P 이용)

배속	2	3	4	5	6
avg.	2.64	2.42	1.51	1.28	0.79
Max.	4.62	3.62	3.79	4.12	3.15
Min.	0.78	1.42	-1.60	-2.31	-2.84

(b) PSNR 차이(P 이용)

배속	7	9	10	11	12	15
avg.	2.75	1.84	1.28	0.80	0.46	-0.01
Max.	4.28	3.87	3.11	2.75	2.41	1.24
Min.	1.25	-0.17	-0.63	-0.75	-0.85	-0.78

2, 3 및 7배속에서는 'stored'보다 제안된 방식의 객관적 화질저하가 평균 3dB이내로 얻어졌다. 그러나, 11배속 이상에서는 'stored'와 제안된 방식의 화질차이는 거의 없었다. 본 논문은 이러한 객관적인 화질의 저하를 어느 정도 감수하고도, 망 측면에서 대역폭의 증가를 요구하지 않고 서비스 제공자측과 사용자측의 부담을 주지 않는 정방향 및 역방향 빠른 재생 명령처리가 가능하도록 하였다. 또, 실제로 측정된 객관적인 화질저하와는 달리 빠른 재생 명령수행 동

안 주관적 화질저하는 거의 감지할 수 없었다. 따라서, 본 논문에서 제안된 방식은 이미 설정된 대역폭 내에서 주관적 화질의 저하없이 빠른 재생 명령을 수행할 수 있다는 관점에서 경제적이라 할 수 있다.

그림 7은 I 및 P picture를 이용한 6배속, I picture를 이용한 7배속인 경우에 사용된 비트수이다. (a)에서 I 및 P picture에 평균적으로 사용된 비트수가, 한 picture당 할당된 평균 비트수(avg # of bits in a picture)인 bit\_rate/frame\_rate값에 근접하여 설정된 대역폭내에서 전송이 가능함을 알 수 있다. 또한 (b)에서도 설정된 대역폭내에서 명령수행에 적합하게 할당된 타겟 비트수로 부호화된 비트열을 저장하고 있는 'stored' 방식과 마찬가지로 제안된 방식에서도 설정된 타겟

비트수에 근접한 비트수를 이용하여 명령을 수행함으로써 설정된 대역폭내에서 전송이 가능함을 알 수 있다.

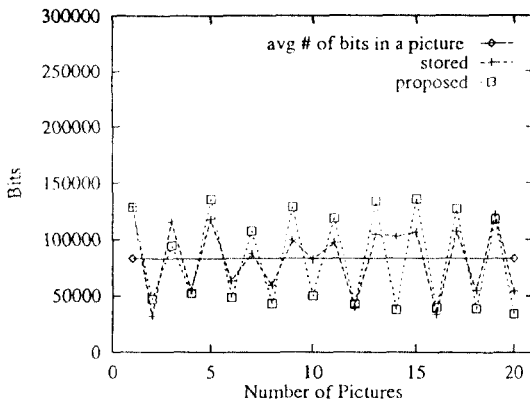
따라서, 설정된 대역폭내에서 명령수행을 위해 표본화된 데이터의 비트수를 줄임으로써 FF/R 명령수행을 위한 추가적인 대역폭을 필요로 하지 않게 되어 응답지연을 최소화할 수 있다.

### V. 결 론

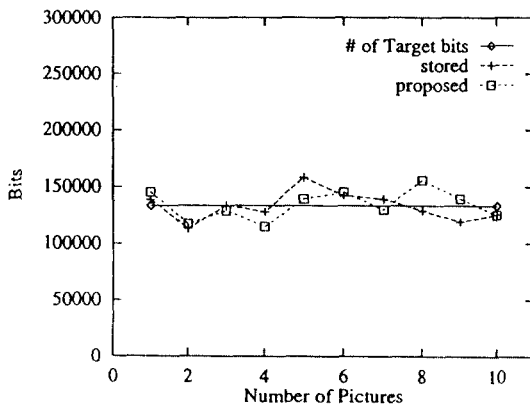
본 논문에서는 주문형 비디오 서비스에서 지원되는 VCR 기능 중 정방향 및 역방향 빠른재생 명령처리 방식을 제안해 보았다. 제안된 방식에서는 별도의 비트열의 저장을 요구하지 않고 정상속도재생에 적합한 대역폭내에서 명령수행이 가능하다. 또한 서비스 사용자측에는 명령처리를 위한 추가적인 장치를 요구하지 않고 서비스 제공자측에 명령처리를 위한 최소의 추가적인 장치만을 요구한다. 제안된 방식을 서비스 제공자가 명령수행에 적합한 비트열을 별도로 저장하고 있는 경우에 비해 최대 3dB까지의 화질저하가 발생했으나, 명령에 따라 빠른 재생 화면에서의 주관적 화질저하는 거의 감지할 수 없었다.

### 참 고 문 헌

1. 박섭형, 이정수, 윤동식, 정재일, "국내 VOD 기술의 발전 현황 및 전망", 한국통신학회지 제 13 권, 제 7 호, 1996년 7월.
2. M. S. Chen, D. D. Kandlur, P. S. Yu, "Support for Fully Interactive Playback in a Disk-Array-Based Video Server", *Proceedings of ACM Multimedia*, Oct. 1994, pp. 391-398.
3. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N0801, "Information technology-Generic Coding of Moving pictures and associated AUDIO: System", April 1995.
4. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1100, "Digital Storage Media Command & Control", Nov. 1995.
5. J. Dey-Sircar, J. Salehi, J. Kurose, D. Towsley, "Providing VCR capabilities in Large-Scale Video Servers", *Proceedings of ACM Multimedia 1994*, Oct. 1994, pp. 25-32.



(a) 6배속(I, P 이용)



(b) 7배속(I 이용)

그림 7. 사용된 비트수

- 6. Antoine N. Mourad, "Issues in the design of a storage server for video-on-demand", *Multimedia Systems*, April 1996, pp. 70-86.
- 7. M. Chen, D. Kandlur, "Downloading and Stream Conversion: Supporting Interactive Playout of Videos in a Client Station", *Proc. 2nd Intl. Conf. on Multimedia Computing Systems, Washington DC.*, May 1995, pp. 73-80.
- 8. Yasuyuki Nakagima, Hironao Hori, Tomotsu Kanoh, "Rate Conversion of MPEG Coded Video by Requantization Process", *IEEE*, 1995.
- 9. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 13818-2, "Information technology- Generic Coding of Moving pictures and associated AUDIO: Video", March 1995.
- 10. N. S. Jayout, Peter Noll, "Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video"; Prentice Hall, 1984.



**權 恩 晶(Eun Jung Kwon) 정희원**  
 1974년 1월 24일생  
 1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사  
 1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1997년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

통신 신호처리 연구실 연구원

※주관심분야: 영상통신, VOD 서비스, 영상신호처리



**崔 永 進(Young Jin Choi) 정희원**  
 1972년 1월 8일생  
 1994년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사  
 1996년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1996년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

박사과정

※주관심분야: ATM망에서의 영상통신, 영상 트래픽 모델링, 영상신호처리



**金 炯 明(Hyung Myung Kim) 정희원**  
 1952년 10월 24일생  
 1974년 2월: 서울대학교 공학사  
 1982년 4월: 미국 Pittsburgh 대학 전기공학과 석사  
 1985년 12월: 미국 Pittsburgh 대학 전기공학과 공학박사

1986년 4월~1992년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수

1992년 9월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수

※주관심분야: 디지털 신호와 영상처리, 다차원 시스템 이론, 비디오신호 전송통신 이론, 이동 통신 기술 분야