

# 디지털 VCR의 다중 속도 재생을 위한 오류 정정 방식

정회원 김 승 호\*, 김 상 우\*\*

## An Error-Control Coding Scheme for Multispeed Play of Digital VCR

Seung Ho Kim\*, Sang Wu Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 디지털 VCR(video cassette recorder)의 다중 속도 재생을 위한 오류 정정(error-correction) 방식을 제안하고 분석한다. 제안된 방식은 기존의 방식에 비하여 복호화 시간에 있어서 약간의 증가 또는 증가 없이 훨씬 좋은 성능을 나타낸다. 수식 분석을 증명하기 위하여 DCT(discrete cosine transform)와 양자화된 이미지에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 하고 그 결과를 보여준다.

### ABSTRACT

An error-control coding scheme for multi-speed play of digital video cassette recorder (DVCR) is proposed and analyzed. The proposed coding scheme is shown to yield a significant performance improvement over the conventional scheme with only a minor or no increase, depending on the play mode, in decoding time. A computer simulation is done on DCT-based quantized images to verify our analysis.

### I. 서 론

오류 정정 부호(error-correction codes)는 디지털 데이터 저장 시스템의 디자인과 개발에 큰 역할을 하여 왔다. 특히, 곱부호(product code)라 불리는 이차원 구조의 부호는 디지털 VCR(video cassette recorder)과 같은 영상 데이터 저장 시스템에서 발생하는 오류를 정정하기 위하여 널리 사용되어 왔다. 그림 1은 가로 방향이  $(n_1, k_1)$  부호어(codeword)이고 세로 방향이  $(n_2, k_2)$  부호어인 이차원 곱부호를 나타낸다. 본 논문에서 고려되는 곱부호는 가로와 세로 방향이 모두 리드-솔로몬(Reed-Solomon) 부호로 구성된다. 리드-솔로몬 부호를 사용하는 중요한 이유중의 하나는 주어진  $n$ 과  $k$ 에 대하여  $(n, k)$  리드-솔로몬 부호보다 더 큰 최소 거리(minimum distance) 또는 오류 정정 능력을 갖는 부호가 없기 때문이다.

디지털 VCR의 가장 중요한 기능중의 하나는 정지,

재생(normal play), 배속(high speed play) 모드를 포함하는 다중 속도 재생 이다. 그림 2는 재생과 배속을 할 경우 마그네틱 테이프에서의 VCR의 헤드 진행 방향을 나타낸다. 재생 모드에서는 VCR의 헤드가 각 트랙으로부터 연속적으로 데이터를 읽어 들이게 된다. 하지만 배속 모드에서는 마그네틱 테이프의 헤드가 한 개의 트랙을 따라 데이터를 읽어들이는 것이 아니라 여러 개의 트랙을 교차하면서 데이터를 읽어 들이게 되므로 한 트랙으로부터 읽을 수 있는 데이터 양이 마그네틱 테이프의 속도에 비례하여 줄어들고 오류 발생 가능성도 커진다. 따라서 재생 속도가 변하게 되면 오류 정정 방식도 바뀌게 된다. 본 논문에서는 재생 모드 뿐 아니라 배속 모드에 대한 새로운 오류 정정 방식을 제안하고 그 성능을 분석한다. 수식 분석을 증명하기 위하여 DCT(discrete cosine transform)와 양자화된 이미지에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 한다.

\* LG 전자 미디어 통신 연구소, 정회원, \*\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학부(swkim@san.kaist.ac.kr) 정회원  
논문번호 : 98128-0319, 접수일자 : 1998년 3월 19일

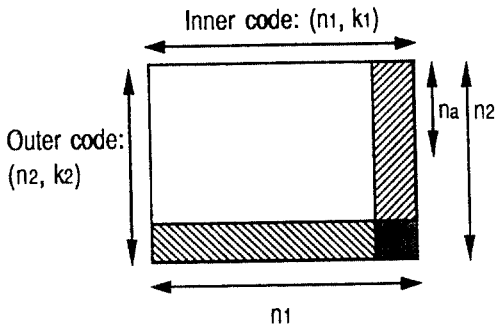


그림 1. 이차원 곱부호  
Fig. 1 Array format of the conventional coding scheme

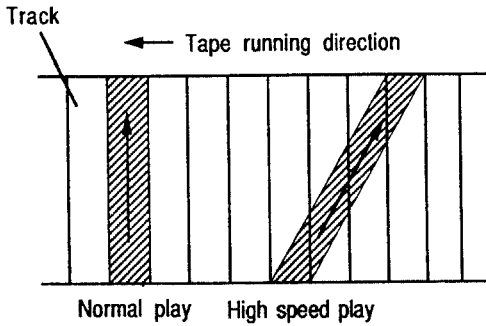


그림 2. 마그네틱 테이프에서의 헤드 진행 방향  
Fig. 2 Head trace on a magnetic tape

## II. 오류 정정 방식

본 논문에서는 재생 모드에서 한 개의 트랙으로부터 읽어들이는 데이터가 그림 1의  $n_1 \times n_2$  이차원 곱부호 어레이를 완전히 채운다고 가정한다. 반면에, 배속 모드에서는 한 개의 트랙으로부터 읽어들이는 데이터가 줄어들기 때문에  $n_1 \times n_a$  어레이를 채운다고 가정한다. 여기서  $n_a < n_2$ 이며,  $n_a$ 의 길이는 재생 속도, 헤드폭, 테이퍼에 대하여 요구되는 신호대 잡음 비로부터 결정되어 진다 [1]. 일반적으로 헤드가  $M$  개의 트랙을 교차할 때 한 개의 트랙에서 읽을 수 있는 ( $n_1 \times n_a$  어레이를 채우는) 데이터 양은  $M$ 이 증가함에 따라 감소하게 된다.

### 2.1 기존의 오류 정정 방식

재생 모드에서 기존의 오류 정정 방식은 그림 3과 같이 두 단계로 나뉜다 [2], [3]. 먼저 가로 방향의 내부

복호기(inner decoder)에서 오류 정정(error-correction)을 한다. 만약 내부 부호의 오류 정정 범위를 넘어 오류 정정을 하지 못하고 오류 검출(error-detection)을 했을 경우, 내부 복호기에서는 해당되는 부호어를 모두 지운 다음 그 정보를 세로 방향의 외부 복호기(outer decoder)에 넘겨준다. 외부 복호기에서는 내부 복호기에서 받은 지워진 부호어의 위치에 대한 정보를 이용하여 삭제 정정(eraser-correction)을 하게 된다.

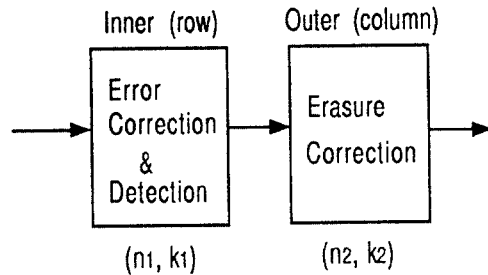


그림 3. 재생 모드에서 기존의 복호화 방식  
Fig. 3 Conventional decoding scheme in normal play

배속 모드에서는 세로 방향으로 데이터(outer code)가 부분적으로 채워지기 때문에 기존의 부호 구조(부호화)를 사용하여 마그네틱 테이프에 레코딩 하였을 경우 세로 방향의 복호화가 불가능하다. 따라서 지금까지의 배속 모드에서의 오류 정정은 가로 방향의 내부 부호만을 사용한 복호화만 이루어져 왔다 [4], [5]. 이것은 각 트랙에서 읽어들이는 데이터 양의 감소에서 기인하며 배속 모드에서 화질의 심각한 저하를 가져온다. 본 논문에서의 주된 관심은 재생 모드에서의 화질은 그대로 유지 또는 개선하면서 배속 모드에서 화질을 향상시키는데 있다.

### 2.2 제안된 오류 정정 방식

앞서 설명한 바와 같이 배속 모드에서는 한 개의 트랙으로부터 읽어들이는 데이터량이 줄어들고, 이 때 읽혀진 데이터는 그림 1의  $n_1 \times n_a$  어레이를 채운다. 본 논문에서 제안되는 배속 모드에서 오류 정정 방식의 특징은 이러한 어레이 구조( $n_1 \times n_a$ )에서도 이차원의 리드-솔로몬 곱부호 구성이 가능하도록 부호화 한 것에 있다. 따라서 기존의 부호 구조(부호화)를 사용하여 마그네틱 테이프에 레코딩 하였을 경우 불가능하였던 세로 방향의 복호화가 가능하고, 배속 모드

에서 화질을 개선시킬 수 있다.

그림 4는 본 논문에서 제안된 오류 정정 방식의 부호 구조를 나타낸다. 세로 방향에 있어서 추가 심볼(redundancy)은 두 개의 부분  $n_a - k_a$ ,  $n_2 - (n_a - k_a) - k_2$ 로 나누어진다. 먼저  $k_a$  정보 심볼에  $(n_a, k_a)$  리드-솔로몬 부호화하고 난 후,  $k_a$  심볼을 포함하는  $k_2$  정보 심볼에  $(n_2 - (n_a - k_a), k_2)$  리드-솔로몬 부호화 한다. 재생 모드에서는  $(n_2 - (n_a - k_a), k_2)$  부호를 사용하여 복호화하고, 배속 모드에서는  $(n_a, k_a)$  부호를 사용하여 복호화 한다. 가로 방향은  $(n_1, k_1)$  리드-솔로몬 부호어로 구성되어 있다. 본 논문에서 리드-솔로몬 부호의 심볼 크기는  $q$ 이며  $\log_2 q$  비트로 구성된다.

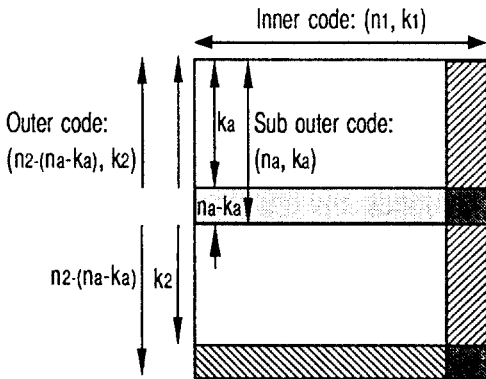


그림 4. 제안된 오류 정정 방식의 부호 구조  
Fig. 4 Array format of the proposed coding scheme

2.2.1 재생 모드

재생 모드에서의 복호화는 그림 5와 같이 세 단계로 나누어 복호화가 이루어지는데 마지막 두 단계는

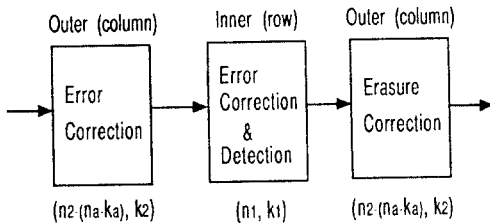


그림 5. 재생 모드에서의 제안된 복호화 방식  
Fig. 5 Proposed decoding scheme in normal play mode

기존의 복호화 방식과 그 과정이 동일하다. 추가되는 첫 번째 단계는 전체 복호화 시간에 거의 영향을 미치지 않음을 나중에 보인다.

1 단계: 세로 방향으로  $(n_2 - (n_a - k_a), k_2)$  리드-솔로몬 부호를 사용하여 오류 정정을 한다.  $(n_2 - (n_a - k_a), k_2)$  리드-솔로몬 부호는 최소 거리가  $n_2 - k_2 - (n_a - k_a) + 1$ 이기 때문에,  $\lfloor \frac{n_2 - k_2 - (n_a - k_a)}{2} \rfloor$  개 까지의 오류 정정이 가능하다 [6].

채널에서 발생하는 오류가 랜덤하다고 가정하고, 그 심볼 오류 확률을  $p$ 라 하면 복호화 후 심볼 오류 확률  $\hat{p}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{p} = \sum_{i = \lfloor \frac{n_2 - k_2 - (n_a - k_a)}{2} \rfloor + 1}^{n_2 - (n_a - k_a)} \frac{i}{n_2 - (n_a - k_a)} \binom{n_2 - (n_a - k_a)}{i} p^i (1 - p)^{n_2 - (n_a - k_a) - i} \tag{1}$$

2 단계: 가로 방향의  $(n_1, k_1)$  리드-솔로몬 부호를 사용하여 내부 복호기에서 오류 정정과 오류 검출을 한다. 오류 정정 갯수를  $e_c$ , 오류 검출 갯수를  $e_d$ 라 하면  $e_c$ 와  $e_d$ 는  $e_c + e_d \leq n_1 - k_1$ ,  $e_c \leq e_d$ 를 만족하는 범위 내에서 오류 정정과 오류 검출을 할 수 있다. 만약 수신된 부호어(전송된 부호어+오류 패턴)와 전송된 부호어가 아닌 다른 부호어와의 거리(distance)가  $e_c$  보다 작거나 같으면 다른 부호어로 잘못 정정하게되어 오류를 검출할 수 없고, 그 확률  $P_{ud}$ 는 다음과 같이 주어진다 [6].

$$P_{ud} = \sum_{i = n_1 - k_1 - e_c + 1}^{n_1} \left( \frac{\hat{p}}{q - 1} \right)^i (1 - \hat{p})^{n_1 - i} \cdot \sum_{j = \max(i - e_c, n_1 - k_1 + 1)}^{\min(i + e_c, n_1)} A_j N(j, i) \tag{2}$$

여기서,  $q$ 는 부호 심볼의 크기 (즉 GF( $q$ )),  $A_j$ 는 weight가  $j$ 인 부호어의 갯수이다. 그리고  $N(j, i)$ 는 weight가  $j$ 인 특정 부호어에서 반지름  $e_c$ 의 복호화 구(decoding sphere) 안에 있는 Hamming weight가  $i$ 인 sequence 갯수이다.  $(n_1, k_1)$  리드-솔로몬 부호에 대한  $A_j$ 와  $N(j, i)$ 는 다음과 같이 주어진다 [6], [7].

$$A_j = \binom{n_1}{j} (q-1)^{j-n_1+k_1-1} (-1)^m \binom{j-1}{m} q^{j-n_1+k_1-1-m} \quad (3)$$

$$N(j, i) = \sum_{s=0}^{e_c} \sum_{m=0}^s \binom{n_1-j}{m+i-j} \binom{j}{s+j-i-2m} \left( \frac{2m+i-s}{m} \right) (q-1)^{m+i-j} (q-2)^{s+j-i-2m} \quad (4)$$

여기서,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 양수이며,  $\binom{\beta}{\alpha}$ 는  $\alpha \leq \beta$ 를 만족하지 않으면 0인 값으로 정의한다.

내부 복호기에서는  $e_c$  개의 오류를 정정할 수 있으므로 임의의 가로 방향 부호어에서 바르게 복호화 될 확률  $P_c$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_c = \sum_{j=0}^{e_c} \binom{n_1}{j} \hat{p}^j (1-\hat{p})^{n_1-j} \quad (5)$$

그리고 오류 패턴이 검출되면 해당되는 부호어는 지워지게되며, 그 확률  $P_d$ 는 다음과 같다.

$$P_d = 1 - P_c - P_{ud} \quad (6)$$

3 단계: 내부 복호화 후 세로 방향에서 각각의 심볼은 바른 심볼, 지워진 심볼, 오류 심볼의 세가지 상태로 나누어지게 된다. 3 단계에서는 2 단계에서 지워진 심볼들을 정정한다. 2 단계의 내부 복호화가 끝난 다음 심볼의 오류가 검출되지 않을 (오류 심볼) 확률  $P_{ud,s}$ 는 다음과 같이 주어진다 [6], [7]

$$P_{ud,s} = \sum_{i=n_1-k_1-e_c+1}^{n_1} \left( \frac{\hat{p}}{q-1} \right)^i (1-\hat{p})^{n_1-i} \cdot \sum_{j=\max(i-e_c, n_1-k_1+1)}^{\min(i+e_c, n_1)} A_j N(j, i) \frac{j}{n_1} \quad (7)$$

$(n_2 - (n_a - k_a), k_2)$  리드-솔로몬 부호는  $n_2 - k_2 - (n_a - k_a)$  개의 삭제 정정이 가능하기 때문에 세로 방향에서 바르게 복호화 하지 못할 확률  $P_e$ 는 다음과 같다.

$$P_e = 1 - \sum_{j=0}^{n_2-k_2-(n_a-k_a)} \binom{n_2-(n_a-k_a)}{j} \quad (8)$$

$$P_d^i (1 - P_d - P_{ud,s})^{n_2-(n_a-k_a)-j}$$

그리고, 복호화 후 심볼 오류 확률  $P_{e,s}$ 는 다음과 같다.

$$P_{e,s} = \sum_{j=n_2-k_2-(n_a-k_a)+1}^{n_2-(n_a-k_a)} \frac{j}{n_2-(n_a-k_a)} \times \binom{n_2-(n_a-k_a)}{j} P_d^i (1 - P_d - P_{ud,s})^{n_2-(n_a-k_a)-j} + \sum_{i=1}^{n_2-(n_a-k_a)} \sum_{j=0}^{n_2-(n_a-k_a)-i} \frac{(i+j)}{n_2-(n_a-k_a)} \times \binom{n_2-(n_a-k_a)}{i,j} \times P_{ud,s}^i P_d^j (1 - P_d - P_{ud,s})^{n_2-(n_a-k_a)-i-j} \quad (9)$$

### 2.2.2 배속 모드

배속 모드에서의 복호화는 그림 6과 같이 두 단계로 이루어진다. 이것은 세로 방향으로  $(n_a, k_a)$  부호어 부호(sub outer code)를 이용하여 삭제 정정을 하는 것 외에는 제안된 재생 모드 복호화 과정 2 단계 및 3 단계와 그 과정이 동일하다.

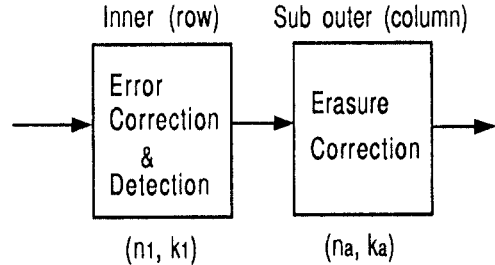


그림 6. 배속 모드에서의 제안된 복호화 방식  
Fig. 6 Proposed decoding scheme in high speed play mode

가로 방향의 내부 복호기에서 오류가 검출되지 않을 확률  $P_{ud}'$ 는 식 (2)의  $\hat{p}$  대신 채널에서 발생하는 심볼 오류 확률  $p$ 를 대입한 것과 같고, 바른 부호어로 정정될 확률  $P_c'$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_c' = \sum_{j=0}^{e_c} \binom{n_1}{j} p^j (1-p)^{n_1-j} \quad (10)$$

따라서 가로 방향에서 오류가 검출될 확률  $P_d'$ 는 다음과 같다.

$$P_d' = 1 - P_c' - P_{ud}' \quad (11)$$

( $n_a, k_a$ ) 리드-솔로몬 부호는  $n_a - k_a$  개 만큼의 삭제 정정을 할 수 있기 때문에 세로 방향에서 바르게 복호화하지 못할 확률  $P_e'$ 는 다음과 같다.

$$P_e' = 1 - \sum_{j=0}^{n_a - k_a} \binom{n_a}{j} P_d'^j (1 - P_d' - P_{ud,s}')^{n_a - j} \quad (12)$$

여기서  $P_{ud,s}'$ 는 식 (7)의  $\hat{p}$ 에  $p$ 를 대입한 것과 같다. 그리고 복호화 후 심볼 오류 확률  $P_{e,s}'$ 는 다음과 같다.

$$P_{e,s}' = \sum_{j=n_a - k_a + 1}^{n_a} \frac{j}{n_a} \binom{n_a}{j} P_d'^j (1 - P_d' - P_{ud,s}')^{n_a - j} + \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=0}^{n_a - i} \frac{(i+j)}{n_a} \binom{n_a}{i,j} P_{ud,s}'^i P_d'^j (1 - P_d' - P_{ud,s}')^{n_a - i - j} \quad (13)$$

### III. 수치적 결과 및 컴퓨터 모의 실험

표 1은 기존의 방식과 제안된 방식의 재생 모드와 배속 모드에서 복호화 후 심볼 오류 확률을 나타낸다. 이 때 제안된 방식에 대한 수식은 식(9)와 식(13)을 사용하였으며, 기존의 방식에 대한 수식은 제안된 방식의 수식 유도과정으로부터 쉽게 알 수 있다. 계산은 C 언어를 사용하여 Workstation에서 하였으며, 각 변수는 double로 선언되어 계산되었다. 컴퓨터의 컴파일러가 제공하는 double 형의 범위는 float.h라는 헤더 파일로부터 알 수 있다. 거기에 정의된 'DBL\_MIN'이 가장 작은 수이고, 'DBL\_MAX'가 가장 큰 수이며, 대부분의 컴파일러는 double 형을 저장하기 위하여 8 바이트를 사용한다. 본 논문에서 사용된 컴파일러가 제공하는 DBL\_MIN =  $2.225 \times 10^{-308}$ 이고 DBL\_MAX =  $1.798 \times 10^{308}$ 이며, 유효 숫자는 15자리이기 때문에 계산상의 오차는 거의 무시할 수 있다. 이 표에서는 두 가지 방식의 전체 추가 심볼 양을 같게 하여 공정한 비교가 되도록 하였다. 표 1로부터 제안된 오류 정정 방식이 기존의 방식보다 복호화 후 훨씬 낮은 심볼 오류 확률을 갖게됨을 알 수 있다 (특히 낮은 채널 오류 확률에서). 그림 7은 제안된 오류 정정 방식의 내부 복호기에서 오류 정정과 오류 검출 갯수, 즉 ( $e_c, e_d$ ) 조합에 따른 복호화 후 심볼 오류 확률을

나타낸다. 이 그림으로부터 복호화 후 가능한 낮은 심볼 오류 확률을 갖기 위해서는 채널의 심볼오류 확률  $p$ 에 따라 내부 복호기에서 적절한 ( $e_c, e_d$ )를 선택해야 함을 알 수 있다. 예를 들면, 채널 오류 확률이 감소되면 재생 모드에서 오류 검출 능력이 증가하여야 한다. 수식적인 분석을 증명하기 위한 컴퓨터 모의 실험에 대한 블록도가 그림 8에 나타나 있다. 소스 부호

표 1. 복호화 후 심볼 오류 확률:  $n_1 = 85, k_1 = 77, n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69, q = 256$  (a)  $e_c = 2, e_d = 6$  (b)  $e_c = 4, e_d = 4$

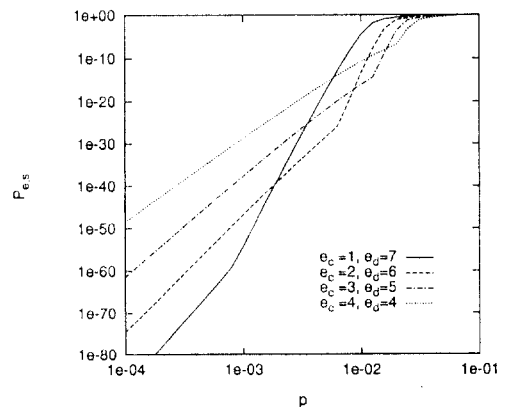
Table 1. Post decoding symbol error probability:  $n_1 = 85, k_1 = 77, n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69$  and  $q = 256$  (a)  $e_c = 2, e_d = 6$  (b)  $e_c = 4, e_d = 4$

p	Normal play ( $P_{e,s}$ )		High speed play ( $P'_{e,s}$ )	
	Conventional	Proposed	Conventional	Proposed
$10^{-4}$	$5.67 \times 10^{-31}$	$2.99 \times 10^{-75}$	$9.82 \times 10^{-08}$	$5.67 \times 10^{-31}$
$10^{-3}$	$5.42 \times 10^{-24}$	$1.55 \times 10^{-47}$	$9.29 \times 10^{-05}$	$9.60 \times 10^{-18}$
$10^{-2}$	$9.58 \times 10^{-03}$	$4.45 \times 10^{-14}$	$5.40 \times 10^{-02}$	$1.94 \times 10^{-02}$
$10^{-1}$	$9.93 \times 10^{-01}$	$9.93 \times 10^{-01}$	$9.93 \times 10^{-01}$	$9.93 \times 10^{-01}$

(a)

p	Normal play ( $P_{e,s}$ )		High speed play ( $P'_{e,s}$ )	
	Conventional	Proposed	Conventional	Proposed
$10^{-4}$	$1.29 \times 10^{-17}$	$3.05 \times 10^{-49}$	$3.26 \times 10^{-13}$	$1.29 \times 10^{-17}$
$10^{-3}$	$1.22 \times 10^{-12}$	$1.90 \times 10^{-29}$	$3.07 \times 10^{-08}$	$1.22 \times 10^{-12}$
$10^{-2}$	$8.74 \times 10^{-08}$	$1.81 \times 10^{-11}$	$1.69 \times 10^{-03}$	$7.89 \times 10^{-08}$
$10^{-1}$	$9.35 \times 10^{-01}$	$9.35 \times 10^{-01}$	$9.35 \times 10^{-01}$	$9.35 \times 10^{-01}$

(b)



(a)

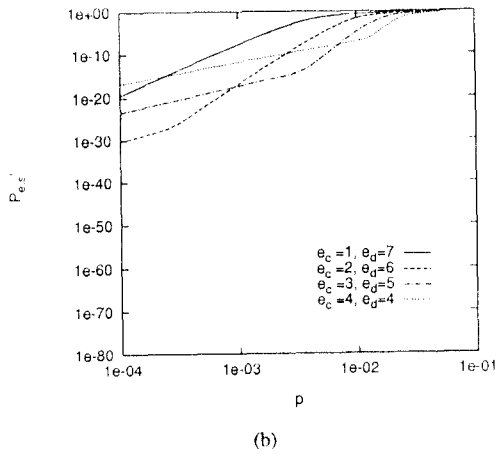


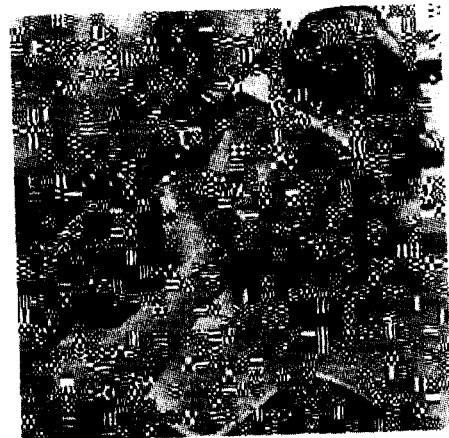
그림 7. 제안된 오류 정정 방식의 내부 복호기에서  $(e_c, e_d)$  조합에 따른 복호화 후 심볼 오류 확률:  $n_1 = 85, k_1 = 77, n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69, q = 256$  (a) 재생 모드 (b) 배속 모드

Fig. 7 Post decoding symbol error probabilities for several values of  $(e_c, e_d)$  pair with the proposed coding scheme:  $n_1 = 85, k_1 = 77, n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69$  and  $q = 256$  (a) Normal play mode (b) High speed play mode

화(source coding) 부분은 DCT와 균일 양자화(uniform quantization)를 사용했다. DCT는 대부분의 디지털 영상 압축 알고리즘에 널리 쓰인다. 부호화 된 이미지는 랜덤한 심볼 오류를 섞고 복호화 하였다. 이 모의 실험에서는 복호화 후 지워진 심볼에 대하여 concealment는 하지 않았다. 일반적으로 가변 길이 부호화(variable length coding)를 사용하면 오류 확산 효과 때문에 한 개의 심볼 오류에 대해서도 심각한 화질의 저하를 가져올 수 있다. 이러한 오류 확산 효과를 줄이기 위하여 오류 확산의 영역을 제한하는 다양한 아이디어가 제안되고 있다 [4], [8]. 이 모의 실험에서는 여러 가지 오류 정정 방식에 대한 화질의 변화를 보다 명확히 보기 위하여 가변 길이 부호화는 생략하였다. 모의 실험 결과는 그림 9에 나타내었다. 이 그림



(a)



(b)

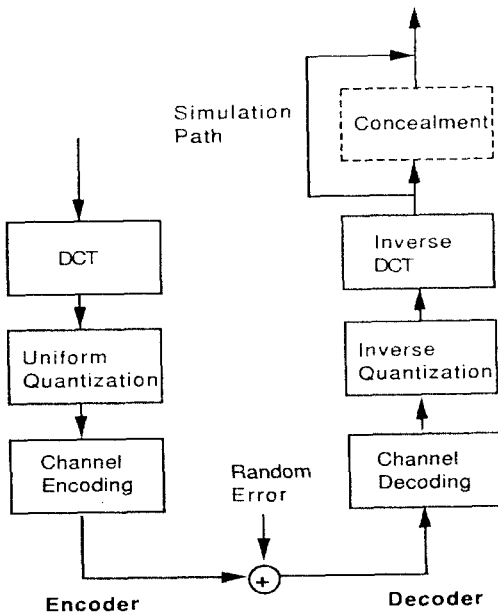


그림 8. 컴퓨터 모의 실험에 대한 블록도  
Fig. 8 Block diagram for computer simulation



(c)



(f)



(d)



(e)

그림 9. 컴퓨터 모의 실험 결과:  $p=10^{-2}$ ,  $n_1=85$ ,  $k_1=77$ ,  $(e_c=2, e_d=6)$ ,  $n_2=149$ ,  $k_2=138$ ,  $n_a=74$ ,  $k_a=69$ ,  $q=256$  (a) 오리지널 이미지 (b) 오류를 섞은 이미지 (c) 재생 모드에서 기존의 방식 (d) 재생 모드에서 제안된 방식 (e) 배속 모드에서 기존의 방식 (f) 배속 모드에서 제안된 방식

Fig. 9 Simulation results:  $p=10^{-2}$ ,  $n_1=85$ ,  $k_1=77$ ,  $(e_c=2, e_d=6)$ ,  $n_2=149$ ,  $k_2=138$ ,  $n_a=74$ ,  $k_a=69$  and  $q=256$  (a) Original image (b) Original image mixed with error (c) Conventional, normal (d) Proposed, normal (e) Conventional, high (f) Proposed, high

에서 제안된 오류 정정 방식이 재생 모드와 배속 모드에서 훨씬 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 10은 컴퓨터 모의 실험에 소요되는 상대적 복호화 시간을 나타낸다. 컴퓨터 모의 실험에 사용된 코드 구조 ( $n_1=85$ ,  $k_1=77$ ,  $n_2=149$ ,  $k_2=138$ ,  $n_a=74$ ,  $k_a=69$ )는 2 배속을 했을 때 읽어들이 수 있는 데이터량을 고려한 코드 구조이다. 이 경우 재생 모드에서 마그네틱 테이프로부터 한 트랙의 데이터  $n_1 \times n_2$ 를 읽어들이며 한 번 복호화를 하는 동안 2 배속 모드에서는 두 개의 트랙을 교차하여 데이터를 읽어들이며(각 트랙으로부터 읽어들이는 데이터 량은  $n_1 \times n_a$ ) 두 번의 복호화를 하게 된다.

이 그림에서는 제안된 오류 정정 방식이 재생 모드에서 기존의 복호화 방식보다 한 단계 더 많은 복호화 과정을 가지고 있음에도 불구하고 복호화에 소요되는 상대적인 시간에서 별 차이가 없음을 알 수

있다. 이것은 제안된 오류 방식의 경우, 1 단계 복호화 과정에서 많은 오류가 정정되어 2 단계와 3 단계 복호화 과정에서 소요되는 시간이 훨씬 줄어들기 때문이다. 배속 모드에서는 제안된 오류 정정 방식이 조금 더 많은 복호화 시간을 갖지만 앞에서 언급된 바와 같이 훨씬 더 좋은 성능을 제공한다. 배속 모드에서 두 번의 복호화에 소요되는 전체 시간(High \* 2)은 그림에서와 같이 재생 모드에서 한 번의 복호화에 소요되는 시간(Normal)보다 작기 때문에 배속시 복호화 시간과 관련된 문제는 없음을 알 수 있다.

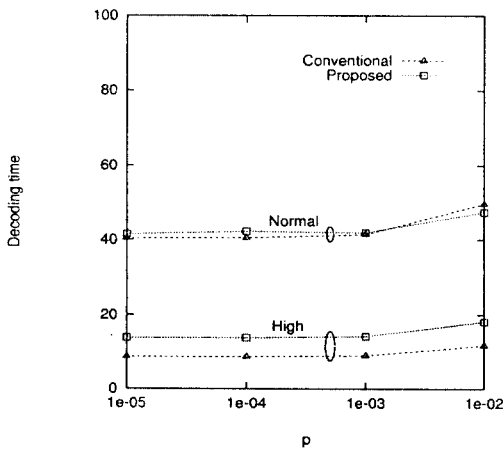


그림 10. 컴퓨터 모의 실험에 소요되는 상대적 복호화 시간:  $n_1 = 85, k_1 = 77, (e_c = 2, e_d = 6), n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69, q = 256$

Fig. 10 Decoding time spent in computer simulation:  $n_1 = 85, k_1 = 77, (e_c = 2, e_d = 6), n_2 = 149, k_2 = 138, n_a = 74, k_a = 69$  and  $q = 256$

#### IV. 결 론

본 논문에서는 디지털 VCR(video cassette recorder)의 다중 속도 재생을 위한 새로운 오류 정정 방식을 제안하고 분석하였다. 제안된 오류 정정 방식은 기존의 오류 정정 방식에 비하여 재생 모드에서 복호화에 소요되는 시간을 증가시키지 않고 배속 모드에서 약간의 시간의 증가로 기존의 오류 정정 방식 보다 훨씬 더 좋은 성능을 나타내었다. 또 수식에 의한 분석을 증명하기 위하여 DCT(discrete cosine transform)와 양자화된 이미지에 랜덤한 오류를 섞어 컴퓨터 모의 실험을 하였고, 제안된 방식이 재생 모드와 배속 모

드에서 훨씬 개선된 화질을 나타냄을 볼 수 있었다. 본 논문에서 제안된 오류 정정 방식은 디지털 VCR 외에 다른 디지털 마그네틱 저장 시스템에도 널리 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. J. Boyce and F. Lane, "Fast scan technology for digital video tape recorder," IEEE Tran. Consumer Electron., vol. 39, pp. 186-191, Aug. 1993.
2. J. H. Wilkinson, "The SMPTE type D-1 digital television tape recorder-error control," SMPTE J., vol. 95, pp. 1144-1149, Nov. 1986.
3. C. H. Gillard, "Error correction strategy for the new generation of 4:2:2 component DVTRs," SMPTE J., vol. 96, pp. 1173-1179, Dec. 1987.
4. C. Yamamitsu et al., "A study on trick plays for digital VCR," IEEE Tran. Consumer Electron., vol. 37, pp. 261-266, Aug. 1991.
5. K. Onish et al., "An experimental home-use digital VCR with three dimensional DCT and superimposed error correction coding," IEEE Tran. Consumer Electron., vol. 37, pp. 252-260, Aug. 1991.
6. A. M. Michelson and A. H. Levesque, Error-Control Techniques for Digital Communication, New York: Wiley, 1985.
7. D. Torrieri, "Information-bit, information-symbol, and decoded-symbol error rates for linear block codes," IEEE Tran. Commun., vol. 36, pp. 613-617, May 1988.
8. C. Yoneda et al., "An experimental digital VCR with new DCT-based bit-rate reduction system," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 37, pp. 275-282, Aug. 1991.





金承鏞(Seung Ho Kim) 정회원

1968년 1월 28일생

1990년 2월: 연세대학교 전기공학과(공학사)

1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1997년 6월~현재: LG 전자 미디어 통신 연구소

<연구분야> 오류 정정, CDMA 모델



金相佑(Sang Wu Kim) 종신회원

1958년 5월 21일생

1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)

1983년 2월: 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)

1987년 5월: Univ. of Michigan 전자공학과(공학박사)

1996년 1월~1997년 1월: California Institute of Technology 전기공학과, 방문 부교수

1987년 6월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수

<연구분야> CDMA, 오류 정정, 이동 무선 통신