論文94-31B-4-11

잡음 채널에서 변환 부호화 영상 전송에 대한 에러 정정 부호

(Error Correction Coding on the Transform Coded Image Transmission over Noisy Channel)

蔡 鍾 吉*, 朱 彦 奭*

(Jong Kil Chae and Eon Kyeong Joo)

要 約

DCT를 이용한 변환 영상 부호화는 채널 에러가 존재하지 않을 때 효율적이나 잡 음 채널에서는 그 성능이 급격히 저하된다. 본 논문에서는 한 부호어 가운데서 중 요한 몇 비트만 보호하는 비트 선택적 에러 정정 부호를 적용하는 경우에 있어서 양자화를 위한 정보 비트와 비트 에러 정정 부호시 부가적인 리던던시 비트를 일정 전송 비트율에서 효율적으로 배정하는 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 결과로 전송 비트율의 증가없이 비트 에러율 10^{-2} 에서 7~8 [dB] 의 PSNR 증가를 얻을 수 있었으며, 채널 잡음에 의한 비트 에러에 의해서 발생한 블록화가 없는 영상을 재생 할 수 있었다.

Abstract

Transform image coding using DCT is proved to be efficient in the absence of channel error but its performance degrades rapidly over noisy channel. In this paper, in the case of appling bit selcetive error correction coding that protects some significant bits in a codeword, an efficient allocation method of information bits and additive redundancy bits used for quantization and error correction coding respectively under constant transmission bit rate is proposed, and its performance is analyzed. As a result, without increasing trasmission bit rate, PSNR can be improved up to 7~8 [dB] below bit error rate 10^{-2} and the image without blocking effect caused by bit error resulted from channel noise can be recostructed.

Ⅰ. 서 론

영상 신호는 고부가의 정보임에도 불구하고 많은 데이타 양으로 인하여 실시간 전송 실현에 상당한 한계를 가지고 있다.[1,3] 이러한 실시간 전송을 위한 데이타 압축 방식은 예측 부호화, 변환 부호화 및 이들을 결합한 하이브리드 부호화 등이 있다.[1,2] 이들 정보원 부호화중에서 변환 부호화는 데이타 압축율이 높아 화상 전화 및 비디오 회의를 위한 CCITT 의 권고안으로 채택되었다.[3] 특히 고속변환을 갖는 DCT (discrete cosine transform)를 이용한 변환 부호화는 에너지 집중성이 높아 변환 부호화의 대표적인 방

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)
※ 이 연구는 1992년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임.
接受日字 : 1993年 9月 7日

법으로 칩의 개발과 더불어 실용화 단계에 있다.

일반적으로 DCT를 이용한 변환 부호화는 자연 영상을 1.0bpp 정도의 부호화율에서 채널 에러가 없는 경우에는 원 영상에 가까운 재생 영상을 얻을 수 있다.[1,2] 그러나 만일 채널의 전송 품질이 좋지 못한 경우에는 만족할 만한 화질의 재생 영상을 얻을 수 없다.[11-15] 변환 부호화에서는 영상을 부 블록으로 나눈 후 블록 단위로 독립적인 처리를 함으로서 한 블록에 발생한 에러는 다른 블록에는 영향을 미치지 않으나 에러가 발생한 블록의 화질은 급격히 저하되고, 이러한 에러가 채널 잡음에 의해서 발생되었다면 블록화가 나타나게 되어 시각적으로 매우 거슬리게 된다.[11]

채널 잡음에 의해서 발생하는 블록화는 수신된 영상에서 인접 신호간의 상관 관계를 이용하여 에러 발생의 위치 및 에러의 정도를 추정, 보상함으로서 줄이는 방법과[14,15] 에러 정정 부호를 적용하므로서 줄일 수 있는 방법으로[11-13] 크게 나눌 수 있다. 일반적으로 일정 전송 비트율에서 에러 정정 부호시 부가되는 리던 던시(redundancy) 비트의 수가 많아지면 채널 잡음은 줄어드나 정보 비트의 수가 감소하게 되어 양자화 잡음이 늘어나고, 리던던시 비트의 수가 적어지면 정보 비트수의 증가로 양자화 잡음은 줄어드나 채널 잡음은 증가한다.

본 연구에서는 양자화된 변환 계수의 값을 이진 부호로 나타내어 채널을 통하여 전송할 때 재생된 영상을 살펴보면 부호어 내의 비트 위치에 따라 에러의 영향이 차이가 나는 점을 이용하여 부호이 가운데서 중요한 몇 비트만 보호하는 비트 선택적 에러 정정 부호를 적용한다. 이렇게 함으로서 리던던시 비트의 증가로 인한 상대적 정보 비트의 감소를 줄일 수 있다. 일정 전송 비트율에서 비트 선택적 에러 정정 부호 적용시 양자화 잡음과 채널 잡음에 의한 재생 영상의 전체적인 왜곡을 최소화 할 수 있는 효율적인 정보 및 리던던시 비트의 배정에 관한 방법을 제안하였다.

제안된 방법의 성능은 10^{-1}~$5x10^{-6}$ 정도의 비트 에러율을 갖는 채널에 대하여 여러가지 에러 정정 부호를 적용하여 재생 영상의 화질과 PSNR에 의하여 평가한다.

Ⅱ. DCT 부호화

부 블록의 크기가 S x S 인 입력신호 f(i,j)의 이차원 DCT 는 식 (1)에 의하여 DCT 변환되고, 변환 영역의 F(u,v)는 식 (2)에 의하여 DCT 역변환 된다.[1,4]

$$F(u,v)=\frac{2}{S}c(u)c(v)\sum_{i=0}^{S-1}\sum_{j=0}^{S-1}f(i,j)\cos\left\{\frac{(2i+1)u\pi}{2S}\right\}\cos\left\{\frac{(2j+1)v\pi}{2S}\right\} \quad (1)$$

$u, v = 0, 1, 2, \cdots\cdots, S-1.$

$$f(i,j)=\frac{2}{S}\sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1}c(u)c(v)\,F(u,v)\cos\left\{\frac{(2i+1)u\pi}{2S}\right\}\cos\left\{\frac{(2j+1)v\pi}{2S}\right\} \quad (2)$$

$i, j = 0, 1, 2, \cdots\cdots, S-1.$

여기서

$$c(m)=\begin{cases}1\sqrt{2} & , \quad m=0\\ 1 & , \quad m=1, 2, \cdots, N-1\end{cases}$$

이다.

변환 계수 가운데서 DC 계수는 영상의 평균적 밝기를 나타내고 균등 확률 분포를 갖는다. 또 영상의 복잡도 정도를 나타내는 AC 계수는 라플라시안 분포를 가지며 확율 분포 함수는 식 (3)과 같다.[4]

$$p(x;u,v)=\frac{1}{\sqrt{2}\sigma(u,v)}\exp\left\{\frac{\sqrt{2}|x|}{\sigma(u,v)}\right\} \quad (3)$$

여기서 $\sigma(u,v)$는 (u,v) 변환 계수의 표준 편차를 의미한다.

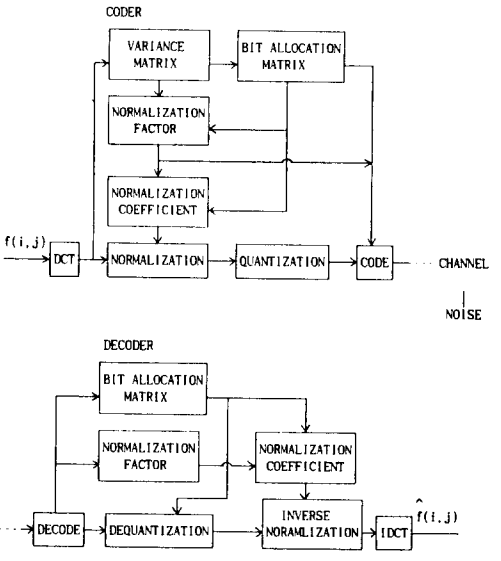


그림 1. DCT 부호화기의 복호기
Fig. 1. DCT source coder and decoder.

그림 1에서 부 블록 크기 S x S 인 입력 영상은 이차원 DCT 변환된 후 두번의 과정을 거치는 것이 필요하다. 첫번째 과정은 변환 계수에 대한 분산 표, 비트 배정표, 정규화 인수(normalization factor)

및 추정 표준 편차인 정규화 계수(normalization coefficient)를 만드는 것이고, 두번째 과정은 정규화된 변환 계수를 양자화, 부호화하여 비트 배정표와 정규화 인수를 나타내는 부가 정보를 더한 결과를 채널로 전송하는 것이다. 이러한 과정은 이전 프레임의 데이타가 두번째 과정을 거치는 동안 현재 프레임의 입력 신호는 첫번째 과정을 거쳐 처리되고 저장되어, 한 프레임 지연에 의해서 수행된다.[4]

균등 확률 분포를 가지는 변환 계수의 DC 성분과 리플라시안 분포를 갖는 AC 변환 계수의 분산은 식 (4) 및 식 (5)와 같이 각각 주어진다.[1,2,4,5]

$$\sigma^2 = (0,0) = \frac{(S f_{\max})^2}{12} \tag{4}$$

$$\sigma^2 = (u,v) = \frac{1}{M^2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M}\left[F_{mn}(u,v)\right]^2, \quad (u,v) \neq (0,0) \tag{5}$$

여기서 m, n은 부 블록의 번호를 나타내며 M은 한 방향의 부블록 갯수를 나타낸다.

변환 계수에 대한 분산이 계산된 후, 각 변환 계수의 양자화 비트 수를 정하기 위한 비트 배정은 부호화율에 따른 왜곡 이론(rate distortion theory)[10]에 근거하여 이루어진다. 부호화율이 식 (6)과 같이 주어질 때 전체 양자화 잡음은 식 (7)과 같이 주어진다.[1,2,6,7]

$$R_s = \frac{1}{SxS}\sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} R_s(u,v) \tag{6}$$

$$\sigma_q^2 = \sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} \alpha \ \ 2^{-2R_s(u,v)}\sigma^2(u,v) \tag{7}$$

여기서 $R_s(u,v)$ 는 (u, v) 변환 계수에 할당되는 양자화 비트 수이며 R_s는 E $[R_s(u,v)]$, 즉 $R_s(u,v)$의 평균이다. 또한 식 (7)에서 α 는 상수이며 라플라시안 확률 분포 함수의 경우, 그 값은 1.2315 이다.[1]

이때 각 변환 계수에 대한 최적 양자화 비트 수의 할당은 식 (6)를 제한 조건으로 하여 식 (7)을 최소화하는 $R_s(u,v)$를 구하면 된다. 이를 Lagrange 승수법에 의해서 구하면 식 (8)과 같이 주어진다.[1,2,6,7]

$$R_s(u,v) = R_s + \log_2 \frac{\sigma^2(u,v)}{\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S^2}} \tag{8}$$

양자화를 위해서는 정수 비트의 배정이 필요하게 되는데 이는 Marginal Return에 의해서 이루어진다.[7] 그리고 일반적으로 균등 확률분포를 갖는 DC 계수는 8 비트 균등 양자화 한다.[4]

그림 1에서 양자화기에 입력되는 변환 계수는 식 (9)의 정규화 계수 $\sigma'(u,v)$ 에 의해 정규화 된다.

$$\sigma'(u,v) = C \cdot 2^{R_s(u,v)-1}, \quad (u,v) \neq (0,0) \tag{9}$$

$R_s(u,v)$에 한 비트가 배정되었다면 정규화 인수 C는 $\sigma'(u,v)$가 된다. 여기서 $\sigma'(u,v)$는 단지 $\sigma(u,v)$의 추정치이므로 C 는 한 비트 배정된 변환 계수의 평균 표준 편차에 해당되는 값이다. 정규화 계수에 의하여 정규화된 변환 계수는 비트 배정표에 따라 양자화 한다.[4] 그리고, AC 계수에 대해서는 주어진 확율 분포 함수에 대하여 MSE(mean square error)를 최소화 할 수 있는 Lloyd-Max의 양자 화기를 이용한다.[1,2,4]

양자화된 계수는 이진 부호어로 표현되고 지그재그(zig-zag) 순서로 전송된다. 그리고 정규화 인수와 양자화를 위한 비트 배정표를 나타내는 부가 정보는 변환 계수 정보 보다 미리 전송이 이루어지고, 수신 측에서는 부호화 과정의 역과정을 거쳐서 복호화하여 영상을 재생한다.[1,2,4]

Ⅲ. 채널 잡음의 영향

단위 분산의 정규화 변환 계수를 비트 배정표에 따라 양자화 한 후 부가적 백색 잡음의 이진 대칭 채널을 통하여 전송할 때 수신된 영상에 나타나는 잡음은 식 (10)과 같다.[13]

$$\varepsilon^2 = E\left[(x - x_r)^2\right] \tag{10}$$

여기서 x 는 입력 신호이고 x_r은 양자화 잡음과 채널 잡음으로 인한 수신 신호 이므로 x 의 양자화 값 x_q를 도입하여 식 (10)을 다시 표현하면 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned}\varepsilon^2 &= E\left\{\left[(x - x_q) + (x_q - x_r)\right]^2\right\} \\ &= E\left[(x - x_q)^2\right] + E\left[(x_q - x_r)^2\right] + 2E\left[(x - x_q)(x_q - x_r)\right]\end{aligned} \tag{11}$$

식 (11)에서 첫번째 항은 양자화 잡음을 나타내고, 두번째 항은 채널 잡음을 나타내는 것이며, 세번째 항은 양자화 잡음과 채널 잡음의 상관 잡음으로 채널 잡음과 양자화 잡음은 거의 독립이므로 무시할 수 있는 매우 작은 값이다. 따라서 수신 영상에 영향을 주는 잡음은 양자화 잡음과 채널 잡음으로 볼 수 있다.[12,13]

신호의 B 비트 양자화된 레벨을 나타내는 부호에

e_m 형태의 비트 에러가 발생 했을 때 채널 잡음은 식 (12)와 같다. [11-13]

$$\varepsilon_c^2 = \sum_{m=0}^{2^B-1} P_m E_m\left[\left(x_q - x_{rm}\right)^2\right] \tag{12}$$

여기서

P_m : e_m 형태 비트 에러의 확률

x_{rm} : x_q 의 e_m 형태 비트 에러에 의한 값

이다.

여기서, B 비트 양자화에 대한 A-factor [8]를 정의하면 식 (13)과 같다.

$$A_{mB} \equiv E_m\left[\left(x_q - x_{rm}\right)^2\right] \tag{13}$$

A_{mB}의 의미는 e_m 형태의 비트 에러에 의한 평균 잡음으로 B 비트 양자화된 패턴에 대한 A-factor는 2B - 1가 존재한다. A-factor 을 이용하여 식 (12)를 다 시 나타내면 식 (14)와 같다. [8,9]

$$\varepsilon_c^2 = \sum_{m=0}^{2^B-1} P_m A_{mB} \tag{14}$$

채널의 비트 에러율이 작을 때 양자화된 신호의 부호에 두 비트 이상의 에러가 발생할 확율은 매우 작으므로 무시하면 식 (15)와 같이 간소화 할 수 있다. [9-11]

$$\varepsilon_c^2 = P_e \sum_{m=0}^{B-1} A_{mB} \tag{15}$$

입력 신호의 전력이 σ^2인 신호를 B 비트 양자화하여 채널의 비트 에러율이 매우 작은 채널을 통하여 전송할 때 채널 잡음은 식 (16)과 같이 주어진다. [9]

$$\sigma_c^2 \equiv P_e \sum_{k=0}^{B-1} A(k,B)\sigma^2 \tag{16}$$

여기서

P_e : 채널의 비트 에러율

A(k,B) : 한 비트 에러에 의한 A-factor

이다. 식 (16)에서 k 가 0 인 것은 MSB를 나타내고 B-1인 것은 LSB를 나타낸다.

Ⅳ. 최적 비트 배정 및 보호 비트의 선택

채널의 비트 에러율이 작을 때 $R_s(u,v)$ 비트 양자화된 변환 계수에 대하여 한 비트 에러 발생시의 평균 채널 잡음을 나타내는 A-factor가 큰 e(u,v) 개의 중요한 비트에만 에러 정정 부호를 적용할 때 채널 잡음은 식 (17)과 같다. [9] 이때 채널의 비트 에러율은 아주 적어서 한 비트 이상에는 비트 에러가 발생하지 않는다는 가정을 하였다.

$$\sigma_c^2(u,v) \equiv P_e \sum_{k=e(u,v)}^{R_s(u,v)-1} A\left(k, R_s(u,v)\right)\sigma^2(u,v) \tag{17}$$

여기서 A(k,R_s(u,v))는 R_s(u,v) 비트 양자화한 계수에서 k 번째 비트가 에러인 경우에 대한 A-factor 이다.

또한 입력 신호의 확률 분포가 균등, 가우시안 또는 라플라시안인 경우에 있어서 양자화 레벨을 NBC (natural binary code)의 이진 부호로 나타낼 때 식 (17)를 식 (18)과 같이 근사화 시킬 수 있다. [9]

$$\sigma_c^2(u,v) \approx \alpha_1 P_e\, 2^{-2e(u,v)}\sigma^2(u,v), \quad for\ P_e << 1 \tag{18}$$

$$\alpha_1 = \sum_{k=0}^{R_s(u,v)-1} A\left(k, R_s(u,v)\right) \tag{19}$$

정보원 비트율과 리던던시 비트율이 주어졌을 때 BCH(N,K) 에러 정정 부호를 적용 [16] 할 때 전송율 R_t는 다음과 같이 주어진다.

$$R_t = R_s + R_r \tag{20}$$

$$R_r = \eta R_e \tag{21}$$

$$\eta = (N-k)/K \tag{22}$$

$$R_e = \frac{1}{S^2}\sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} e(u,v) = \frac{\beta K}{S^2} \tag{23}$$

$$R_e' = \frac{1}{S'}\sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} e(u,v) = \frac{\beta K}{S'} \qquad R_s(u,v) \neq 0 \tag{24}$$

여기서

R_s : 정보원 비트율

Rr : 리던던시 비트율

R_e : 에러 정정을 위해 선택된 비트의 율

S' : 한 부블록 내에서 Rs(u,v) 0 인 계수의 수

β : 한 부블록에 대해 적용된 BCH(N,K) 에러 정정 부호의 수

e(u,v) : (u,v) 계수에서 에러 정정을 위해 선택된 비트 수

R_e' : $R_s(u,v) \neq 0$ 인 계수에 대해서 에러 정정을 위하여 선택된 비트 율

이다.

전송 비트 에러에 의한 채널 잡음은 식 (25)과 같이 주어진다.

$$\sigma_c^2 = \sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} \sigma_c^2(u,v) \qquad R_s(u,v) \neq 0$$

$$= \sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} \alpha_1 P_e 2^{-2e(u,v)} \sigma^2(u,v) \qquad (25)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

식 (24)를 제한 조건으로 하여 식 (25)을 최소화하기 위한 보호 비트수의 배정을 Lagrange 승수법에 의해서 구하면 다음과 같다.

$$e(u,v) = R_e' + \frac{1}{2}\log_2 \frac{\sigma^2(u,v)}{\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1} \sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}} \qquad (26)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

이때 정수 보호비트 수의 배정은 Marginal return 에 의해서 하고, 배정된 비트 수에 따라 A-factor와 변환 계수 분산의 곱이 큰 비트를 최종적으로 선택하여 보호 한다.

최종 재생 영상에 나타나는 잡음은 양자화 잡음과 채널 잡음의 합으로 다음과 같이 주어진다.

$$D_{tot} = \sigma_q^2 + \sigma_c^2$$
$$= \sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} \alpha \; 2^{-2\left[R_t - \frac{\beta(N-K)}{S''}\right]\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}}$$
$$+ \sum_{u=0}^{S-1}\sum_{v=0}^{S-1} \alpha_1 P_e \, 2^{-2\left[\frac{\beta K}{S'}\right]\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}} \qquad (27)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

식 (21)에서 리던던시 비트율은 보호 비트율을 정함에 따라 얻어지고, 보호 비트 율은 식 (23)에서 얻어진다. 따라서 최종 재생 영상에 나타나는 잡음을 최소화하는 β 를 구하므로서 보호 비트율 및 리던던시 비트율을 결정할 수 있다. 그러므로 식 (27)를 β 에 대하여 미분한 값을 0 로 하여 β 를 구한다. R

$$\frac{\partial D_{tot}}{\partial \beta} = \alpha \, 2^{-\left[R_t - \frac{\beta(N-K)}{S''}\right]\ln 2 \frac{(N-K)}{S''}\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}}$$
$$+ \phi \; P_e \, 2^{-2\left[\frac{\beta K}{S'}\right]\ln 2 \frac{K}{S'}\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}} = 0 \qquad (28)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

$$\phi = \prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1} \frac{\alpha_1}{S'} \qquad (29)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

식 (28)을 풀면 는 식(30)와 같이 주어진다.

$$\beta = \frac{S^2 S'}{NS' + K(S^2 - S')} \log_2 \frac{\phi \, P_e K \left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}}{\alpha(N-K)\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S'}} + \frac{R_t S'}{NS' + K(S^2 - S')} \qquad (30)$$
$$R_s(u,v) \neq 0$$

식 (30)에서 β 를 구하기 위해서는 $R_s(u,v) \neq 0$ 인 계수에 대한 분산의 기하 평균 을 알아야 한다. 그러나 정보원 비트의 배정에 의한 $R_s(u,v)$가 주어지기 전에는 알 수 없으므로 리던던시 비트율을 0 으로 하는, 즉 보호 비트의 수가 하나도 없는 상태에서 $R_s(u,v)$를 구한 후 식 (30)으로서 β 를 구한다. 이와 같이 구해진 β 에 근거하여 리던던시 비트를 부가하면 전송 비트율 R_t가 증가하게 되므로 이를 고려하여 식 (29)과 식 (30)을 약간 변형하여 식 (31)과 식 (32)와 같이 한 후 β 를 구한다.

$$\phi = \prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1} \frac{\alpha_1}{S''} \qquad (31)$$
$$R_s(u,v) > \psi$$

$$\beta = \frac{S^2 S''}{NS'' + K(S^2 - S'')} \log_2 \frac{\phi \, P_e K \left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S''}}{\alpha(N-K)\left[\prod_{u=0}^{S-1}\prod_{v=0}^{S-1}\sigma^2(u,v)\right]^{1/S''}} + \frac{R_t S''}{NS'' + K(S^2 - S'')} \qquad (32)$$
$$R_s(u,v) > \psi$$

여기서

ϕ : $R_s(u,v) \leq \psi$ 인 계수를 제외하기 위한 작은 양의 상수

S'' : $R_s(u,v) > \psi$ 인 계수의 수

이다.

그러나, 이때 β 는 최적이 아니므로 β 를 정수화하여 초기치로 설정한 후 반복 방법인 아래와 같은 알고리즘에 의해서 구한다.

Step 1. 식 (8)에 의해서 각 변환 계수에 대한 $R_s(u,v)$를 정한다.

Step 2. $R_s(u,v) > \psi$ 인 변환 계수에 대한 분산의 기하 평균 및 변환 계수의 갯수 와 ϕ 를 구한 후 식 (32)에 의하여 β 를 구하여 정수화 한 후 초기치로 설정한다.

Step 3. β 에 의한 R_e' 및 정보원 비트율 R_s를 구한 후 식 (26)과 식 (8)에 의해서 e(u, v)와 $R_s(u,v)$를 구한다.

Step 4. e(u,v)와 $R_s(u,v)$에 의한 식 (27)의 D_{tot}를 구한다.

Step 5. β 를 증가 또는 감소 시켜가며 Step 3 과 Step 4과정을 거치다. 그리고 현재의 D_{tot}이 이전 단계에서 구한 D_{tot} 보다 적으면 β 를 변화시킨다. 반복적으로 이와 같은 과정을 거치면서 D_{tot} 를 최소화 하는 β 를 찾는다. 그리고, 이 과정에서 각 변환 계수에 대한 보호 비트의 수 및 정보 비트의 수는 얻어진다.

위의 알고리즘에 의하여 얻어진 각 변환 계수의 보호 비트에 대한 정보는 양자 화를 비트 배정표에 대한 정보와는 달리 수신자측에서 추정된 분산으로 부터 얻을 수 있으므로 별도로 전송할 필요는 없다.

Ⅴ. 실험 결과 및 검토

변환 부호화에서 에러 정정 부호의 적용에 대한 전송 특성 조사를 위하여 약 10^{-1}~$5x10^{-6}$ 정도의 비트 에러율을 갖는 채널을 고려한다. 재생 영상의 평가는 8 비트 양자화된 256 x 256 크기의 시험 영상에 대해서 PSNR 과 주관적인 화질로 성능을 평가한다.

$$PSNR = 10\ \log_{10}\frac{255^2}{\frac{1}{YxY}\sum_{i=1}^{Y}\sum_{j=1}^{Y}\left[f(i,j)-f(i,j)\right]^2} \qquad (33)$$

여기서 f(i,j)와 f(i,j)는 각각 원영상과 재생 영상의 (i,j)번째 화소값을 나타내고 영상의 크기는 Y x Y 이다.

단위 분산의 라플라시안 분포 함수에 대한 균등 및 비 균등 양자화 한 후 양자화 레벨을 NBC(natural binary code)로 표현했을 때 A-factor를 구해보면 표 1 과 표 2와 같다.

표 1. 균등 양자화에 대한 NBC의 한 비트 에러에 의한 A-factor

Toble 1. A-factor caused by single bit error of NBC for uniform quantizer.

No. of bits	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
1	1.99996							
2	4.72975	1.18244						
3	8.54744	2.13686	0.53421					
4	13.60134	3.40034	0.85008	0.21252				
5	20.07040	5.01760	1.25440	0.31360	0.07840			
6	28.11545	7.02886	1.75722	0.43930	0.10983	0.02746		
7	37.82742	9.45685	2.36421	0.59105	0.14776	0.03694	0.00924	
8	49.38155	12.34539	3.08635	0.77159	0.19290	0.04822	0.01206	0.00301

표 2. 비균등 양자화에 대한 NBC의 한 비트 에러에 의한 A-factor

Toble 2. A-factor caused by single bit error of NBC for non-uniform quantizer.

No. of bits	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
1	2.00000							
2	5.07928	2.00000						
3	8.95373	3.07897	0.63848					
4	12.94758	4.16129	0.81918	0.18262				
5	16.48499	5.09321	0.97050	0.20909	0.04901			
6	19.29366	5.80923	1.08868	0.22895	0.05260	0.01271		
7	21.34255	6.32159	1.17571	0.24368	0.05514	0.01317	0.00324	
8	22.74685	6.66474	1.23682	0.25433	0.05697	0.01349	0.00329	0.00082

전송 비트율 1.0 bpp 로 부호화한 재생 영상의 전체적인 왜곡을 최소화 할 수 있는 정보 비트와 리던던시 비트를 배정을 한 후 여러가지의 BCH 에러 정정 부호로 비트 선택적 에러 정정 부호 적용한다. 이때 Hamming(7,4) 에러 정정 부호의 경우 균등 및 비균등 양자화기로 부호화시 채널의 비트 에러율에 따른 정보 및 리던던시 비트율은 표 3과 같다.

표 3. BCH(7,4) 사용시 정보 및 용장성 비트율

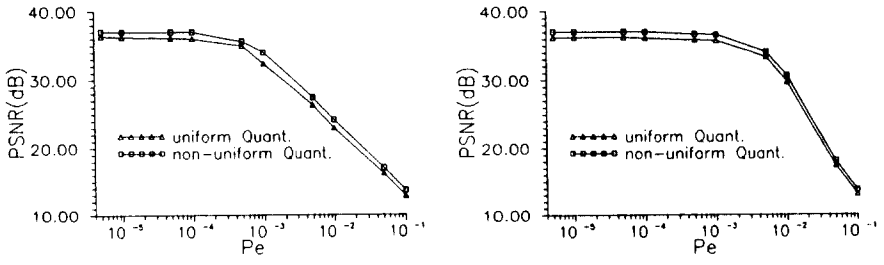
Table 3. Information and redundancy bit rate when BCH(7,4) is used.

Quant. type	Uniform Quantization		Non-uniform Quantization	
BER	information bit rate	redundancy bit rate	information bit rate	redundancy bit rate
10^{-1}	0.625	0.375	0.663	0.337
$5x10^{-2}$	0.707	0.292	0.747	0.253
10^{-2}	0.777	0.223	0.813	0.187
$5x10^{-3}$	0.836	0.164	0.848	0.152
10^{-3}	0.895	0.105	0.906	0.094
$5x10^{-4}$	0.930	0.070	0.953	0.047
10^{-4}	0.965	0.035	0.977	0.023
$5x10^{-5}$	0.965	0.035	0.977	0.023
10^{-5}	1.000	0.000	1.000	0.000
$5x10^{-6}$	1.000	0.000	1.000	0.000

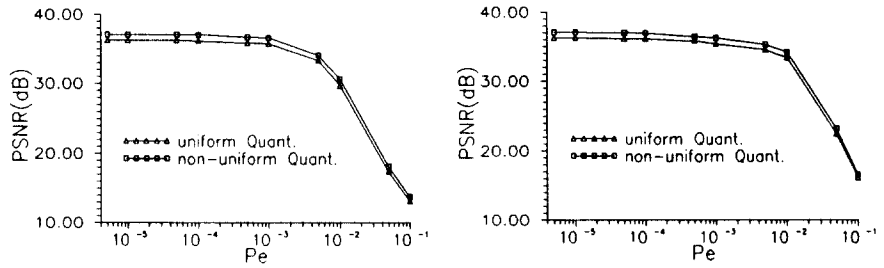
표 3을 살펴보면 채널의 비트 에러율이 높아짐에 따라 리던던시 비트율이 높아짐을 볼 수 있다. 이는 비트 에러율이 높은 경우에는 많은 수의 비트 에러를 정정할 수 있어야 하기 때문이다. 대체로 균등 양자화의 경우가 비균등 양자화 보다 동일 비트 에러율에서 리던던시 비트율이 높게 나타난다. 또한 다른 여러가지의 BCH 부호에 대해서도 동일한 특성을 보인다.

표 3과 같이 다른 여러가지 BCH 부호에 대해서도 정보 비트 및 리던던시 비트를 배정하고, 부호화하여 10^{-1}~$5x10^{-6}$의 비트 에러율을 갖는 채널을 통해서 전송한 재생 영상의 PSNR은 그림 2와 같다. 이때 PSNR 은 가우시안 잡음 채널에서의 많은 실험을 통한 평균이다.

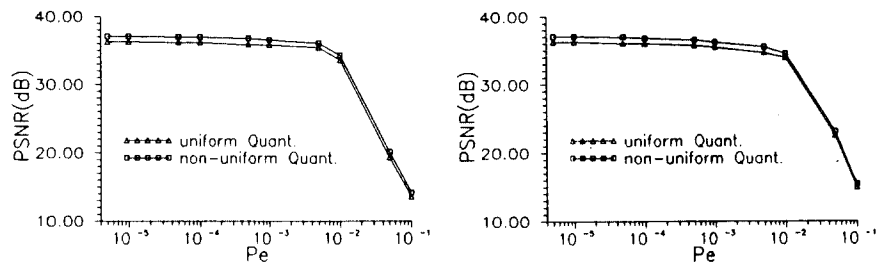
비트 에러율, BCH 에러 정정 부호 및 양자화기에 따른 성능을 살펴보면 비트 에러율이 $5x10^{-4}$ 이하인 경우에는 에러 정정 부호를 적용하지 않은 경우는 약 5% 미만의 리던던시 비트로 에러 정정 부호를 적용한 경우의 PSNR과 거의 동일하다. 그러나 에러 정



(a) without error correction (b) with Hamming(7,4)



(c) with BCH(15,11) (d) with BCH(15,7)



(e) with BCH(31,21) (f) with BCH(31,16)

그림 2. 비트 에러율에 따른 재생 영상의 PSNR
Fig. 2. PSNR of reconstructed image vs. bit error rate.

정 부호를 적용하지 않은 경우의 재생 영상에는 적은 수의 비트 에러에 의해서도 블록화가 나타나지만 에러 정정 부호를 적용한 경우에는 블록화가 거의 없다. 비트 에러율이 $5x10^{-4}$~10^{-2} 에서는 약 5 20% 의 리던던시 비트로 에러 정정 부호를 적용하므로서 PSNR의 저하가 거의 없는 만족할 만한 재생 영상을 얻는다. 그리고 비트 에러율 $5x10^{-2}$ 이하에서는 에러 정정 부호를 적용하더라도 PSNR은 매우 낮게 나타나게 되지만 실용적인 채널에서 의미는 없는 것으로 사료된다. 그리고, BCH 부호의 에러 정정의 정도에 따라 약간의 차이는 있으나 전체적으로 BCH(15,11) 보다는 BCH(15,7)이 조금 나은 성능을 보이고, BCH(31,21) 보다는 BCH(31,16) 이 나은 성능을 나타낸다. 또한 균등 양자화기 보다 비균등 양자 화기의 경우가 약간 나은 성능을 보인다. 균등 양자화기를 사용하여 전송 비트율 1.0 bpp 부호화 한 후, 비트 에러율이 $5x10^{-3}$ 인 채널을 통해서 전송한 재생 영상은 그림 3과 같다.

그림 3을 살펴보면 에러 정정 부호를 적용한 경우의 재생 영상은 채널 잡음에 의한 블록화는 거의 나타나지 않는다. 그러나 에러 정정 부호의 적용이 없는 경우에는 채널 잡음에 의한 블록화가 매우 심하게

나타나 시각적으로 매우 거슬린다.

(a) without error correction (b) with Hamming(7,4)

(c) with BCH(15,11) (d) with BCH(15,7)

(e) with BCH(31,21) (f) with BCH(31,16)

그림 3. 비트 에러율 $5x10^{-3}$에서의 재생 영상
Fig. 3. Reconstructed images at bit error rate of $5x10^{-3}$.

Ⅵ. 결 론

DCT를 이용한 변환 부호화는 자연 영상을 1.0 bpp 정도의 부호화율에서 채널 잡음에 의한 비트 에러가 없는 경우에는 원 영상에 가까운 재생 영상을 얻을 수 있 으나 저품질의 채널을 통한 전송인 경우에는 만족할 만한 화질의 재생 영상을 얻을 수 없다. 일반적으로 양자화 잡음보다 채널 잡음에 의한 화질 저하는 시각적으로 매우 거슬리고 변환 부호화에서 채널 잡음에 의한 현상은 블록화로 나타난다. 이와 같은 현상을 줄이기 위한 방법으로 효율적인 에러 정정 부호를 적용하는 방법을 본 논문에서 제안하였다. 일정 전송율의 채널에서 리던던시 비트의 수가 많아지면 채널 잡음은 줄어드나 정보 비트의 수가 감소하게 되어 양자화 잡음이 늘어나고, 리던던시 비트의 수가 적으면 정보 비트수의 증가로 양자화 잡음은 줄어드나 채널 잡음이 증가하는 문제점을 해결하기 위하여 비트 선택적 에러정정부호를 적용하였다. 그리고 양자화 잡음과 채널 잡음에 의한 재생 영상의 전체적인 왜곡을 최소화 할 수 있는 정보 비트와 리던던시 비트의 효율적인 배정을 하였다.

에러 정정 부호를 적용하지 않은 경우에는 균등 및 비균등 양자화기 모두 채널의 비트 에러율이 10^{-3} 이상이 되면서 PSNR이 급격히 떨어진다. 그러나 에러 정정 부호를 적용한 경우에는 에러 정정 부호의 종류와는 큰 상관없이 채널의 비트 에러율이 10^{-2} 이하에서는 PSNR의 저하가 거의 없다. 또한 비트 에러율이 10^{-1} 에서는 에러 정정 부호를 적용하지 않은 경우 적은 수의 비트 에러에 의해서도 재생 영상 에 블록화가 나타나지만 약 5% 미만의 리던던시 비트로 에러 정정 부호를 적용하므로서 블록화를 제거 할 수 있었다. 전체적으로 비트 에러율이 10^{-4}~10^{-2} 에서는 약 5~20% 의 리던던시 비트로 에러 정정 부호를 적용하므로서 PSNR 의 저하 및 블록화가 거의 없는 만족할 만한 재생 영상을 얻을 수 있었다.

따라서 제안된 방법에 의해서 정보 비트 및 리던던시 비트를 배정을 한 후 비트 선택적 에러 정정 부호를 적용하는 것은 전송율의 증가없이 채널 잡음에 의한 비트 에러에 의해서 발생하는 블록화 및 PSNR의 저하가 거의 없는 만족할 만한 재생 영상을 얻기 위한 효율적인 방법이 된다.

參 考 文 獻

[1] N. S. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

[2] R. J. Clark, *Transform Coding of Image*, Academic Press, San Diego, CA, 1984.

[3] M. L. Liou, "Visual telephony as an ISDN application," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 30-38, Feb. 1990.

[4] W. H. Chen and C. H. Smith, "Adaptive coding of monocrome and

color images," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-25, pp.1285 - 1292, Nov. 1977.

[5] R. C. Reininger and J. D. Gibson, "Distribution of the two dimensional DCT coefficient for images," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-31, pp. 835 - 839, Jun. 1983.

[6] J. J. Y. Huang and P. M. Schultheiss, "Block quantization of correlated Gaussian ramdom variable," *IEEE Trans. on Commun. Sys.* vol. CS-11, pp. 289-296, Sep. 1963.

[7] A. Segall, "Bit allocation and encoding for vector source," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol.IT-22, pp. 162 - 169, Mar. 1976.

[8] N. Rydbeck and C. W. Sundberg, "Analysis of digital errors in nonlinear PCM systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-24, pp.59 - 65, Aug. 1976.

[91] R. Zelinski, "Effects of transmission errors on the mean squared error performance of transform coding systems," *IEEE Trans. on ASSP*, vol. ASSP - 27, pp. 1259 - 1260, Aug.1979.

[10] T. Berger, Rate Distortion Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971.

[11] D. R. Comstocko and J. D. Gibson, "Hamming coding of DCT compressed images using the block cosine Transform," *IEEE Trans., on Commun.*, vol. COM-36, pp. 1261-1274, Jul. 1986.

[12] 채종길, 주언경, "소스-채널 결합 변환 부호화에서 보호 비트의 선택," 제 5회 신호처리 합동학술대회 논문집, Vol. 5 No. 1, pp. 446-449, Sep. 1992.

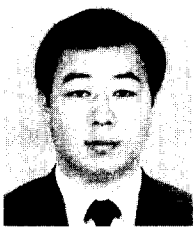
[13] J. W. Modestino and D. G. Daut, "Combined source-channel coding of images using the block cosine transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-29, pp. 1261-1274, Sep. 1981.

[14] O. R. Mitchell and A. J. Tabatabai, "Channel error recovery for transform image coding," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-29, pp. 1754-1762, Dec. 1981.

[15] C. E. Sundberg, "Soft decision demodulation for PCM encoded speech signals," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-26,pp. 854-859, Jun. 1978.

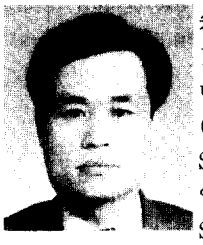
[16] S. Lin and D. J. Costello, JR., *Error Control Coding*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.

著 者 紹 介



蔡 鍾 吉(正會員)

1961年 3月 2日生. 1980年 3月 경북대학교 전자공학과 입학. 1987年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1989年 2月 경북대학교 전자공학과 석사 졸업. 1989年 3月 ~ 1990年 4月 한국통신 연구개발단 전임 연구원. 1992年 2月 경북대학교 전자공학과 박사과정 수료.



朱 彦 煛(正會員)

1954年 1月 19日生. 1976年 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1984年 미국 Ohio State University 전기공학과 졸업(M.S.). 1987年 미국 Ohio State University 전기공학과 졸업(Ph.D.). 1976年 ~ 1979年 해군 통신전자 기술장교. 1979年 ~ 1982年 한국과학기술원 연구원. 1987年 ~ 현재 경북대학교 공과대학 전자공학과 재직(부교수). 주관심 분야는 디지탈통신시스템, 부호화 및 변복조, 디지탈신호전송 등임.