

시각 시스템 모델을 이용한 Subband 코딩

(On Using the Human Visual System Model for Subband Coding)

朴容徹*, 金銀淑*, 車日煥*, 尹大熙*

(Yong Cheol Park, Eun Sook Kim, Il Whan Cha, and Dae Hee Youn)

要 約

본 논문에서는 시각적으로 보다 우수한 품질의 영상을 재생시키기 위해 기존의 subband 코딩 방법에 시각 시스템(human visual system:HVS)모델을 이용한 영상 코딩 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 intensity 영상을 비선형 함수에 의해 density 영상으로 변환시킨 후 quadrature mirror filter를 사용하여 동일한 주파수 대역폭을 갖는 16 subband로 분할한다. 각 subband 신호는 differential pulse code modulation 방법으로 코딩된다. 이때 각 subband 신호에 대한 비트 할당은 시각 시스템 모델의 modulation transfer function을 적용하여 구한 가중치를 이용하여 가중 평균 자승 오차(weighted mean square error)를 최소화하도록 한다. 256*256크기와 256 계조도를 갖는 흑백 정지 영상에 대한 시뮬레이션 결과에서 제안된 방법은 시각 특성을 고려하지 않은 경우와 비교하여 주관적 및 객관적으로 향상된 영상을 재생시켰다.

Abstract

In this paper, a subband coding scheme using the human visual system (HVS) model for encoding monochrome images is proposed to produce perceptually higher quality images compared with the regular subband coding scheme. The proposed approach first transforms the intensity image to the density image by a point nonlinear transformation. A frequency band decomposition of the density image is carried out by means of 2-D separable quadrature mirror filters, which split the density image spectrum into 16 equal rate subbands. Bits are allocated among the subbands to minimize the weighted mean square error (WMSE) for differential pulse code modulation (DPCM) coding of the subbands. The weight for each subband is calculated from the modulation transfer function (MTF) of the HVS model at corresponding frequencies. The performances of the proposed approach are evaluated for 256 * 256 monochrome images at the bit rates of 0.5, 0.75 and 1.0 bits per pixel. Computer simulation results indicate that using the HVS model yields more pleasing reconstructed images than regular subband coding approach which does not use the HVS model.

*正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1989年 8月 22日

(※ 본 논문은 한국과학재단 연구비 지원에 의해서 이루어진 것임.)

I. 서 론

재생된 영상의 품질 평가는 최종적으로 인간의 눈에 의해 이루어진다. 그러므로 시각 시스템(human visual system:HVS) 모델을 기존의 코딩 방법에 결

합시킴으로써 주관적으로 향상된 품질의 영상을 재생시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 이와 같은 연구는 기존의 코딩 방법중에서도 입력 영상을 각기 정해진 주파수 성분으로 변환시켜 코딩하여 공간 주파수 영역에서 정의되는 시각 시스템 모델을 적용하기 용이한 변환 코딩(transform coding) 방법을 중심으로 진행되어왔다.⁵⁻⁶⁾ 시각 시스템 모델을 이용한 변환 코딩 방법은 시각 특성을 고려하지 않은 경우와 비교하여 주관적인 면에서 향상된 성능을 보이지만 낮은 비트율로 코딩하는 경우 변환 코딩 방법 자체의 단점인 블럭 경계 현상⁴⁾을 발생시킨다. 반면에 시각 시스템의 초기 처리 과정과 유사한 subband 코딩 방법은 입력 영상을 서브블럭(sub-block)으로 나누지 않고, 필터 뱅크를 사용하여 공간 주파수 대역(subband)별로 분할한다. 따라서 블럭 경계 현상을 발생시키지 않으면서 변환 코딩 방법에서와 같이 효과적으로 시각 시스템 모델을 결합시킬 수 있는 방법을 제공한다. 또한 코딩 성능에 있어서도 변환 코딩 방법 중에서 가장 우수한 discrete cosine transform(DCT)를 능가한다고 알려졌다.⁷⁾

본 논문에서는 Woods와 O'neal의 subband 코딩 방법에 시각 시스템 모델을 이용한 방법을 제안하고, 그 효과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 제안된 방법은 밝기(intensity)에 따른 명암의 감도 차이(contrast sensitivity)를 고려해주기 위하여 intensity 영상을 비선형 함수에 의해 density 영상¹⁾으로 변환시킨 후 subband 코딩 과정을 수행한다. 또한 subband 코딩의 비트 할당 과정에서, 시각 시스템 모델의 modulation transfer function(MTF)^{2,4,5,6)}을 적용하여 구한 가중치를 이용해 weighted mean square error(WMSE)를 최소화하도록 비트를 할당한다. 이와같이 제안된 방법은 intensity 영상을 density 영상으로 변환시켜 코딩함으로써 밝은 영역보다는 어두운 영역을, 그리고 WMSE 기준에 의해 비트를 할당함으로써 인간의 눈이 민감한 주파수 대역의 subband 신호를 보다 충실히 부호화하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 흑백 정지 영상에 대한 시각 시스템 모델에 대하여, III장에서 이차원으로 확장된 subband 코딩 방법에 대해 살펴본다. 시각 시스템 모델을 이용한 subband 코딩 방법을 IV장에서 제시하고 V장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 시각 특성을 고려하지 않은 경우와 성능을 비교하였으며 VI장에서 결론을 맺었다.

II. 시각 시스템 모델

현재까지 제안되어진 시각 시스템 모델 중에서 본

논문에서 사용한 밝기에 따른 명암의 감도 차이(contrast sensitivity)와 공간 주파수에 따른 감도 차이를 고려해 주는 모델^{2,5)}을 그림1에 나타내었다. 밝기에 따른 명암의 감도 차이는 인간의 눈이 밝은 영역보다는 어두운 영역에서의 변화에 더욱 민감한, 즉 선형적 밝기의 변화에 대해 지수 함수적인 감도를 나타내는 것을 말한다. 이와 같은 특성은 입력 intensity 영상 I를 그림1의 시각 시스템 모델에서와 같이 비선형 함수인 $\log(I)$ 또는 $I^{0.33}$ 에 의해 density 영상으로 변환시킴으로써 근사화할 수 있다. 또한 인간의 눈은 저, 고주파수 대역에 비해 중간 주파수 대역에서 보다 높은 감도를 지닌다. 이와 같은 대역통과 필터링 특성은 광학적인 측면에서의 눈의 불완전성에 의한 저역통과 필터링 특성과 망막(retina)에 존재하는 광감각기관(photo-receptor)들 상호간의 측방 억제(lateral inhibition)에 의한 고역통과 필터링 특성이 결합되어 나타나는 것으로서 공간 주파수 영역에서 modulation transfer function(MTF)으로 모델링 된다. 시각 시스템을 isotropic 모델로 가정하여 제안된 여러 MTF^{2,4,5,6)}들은 서로 다른 주파수에서 최대값을 갖고 있지만 대략 3-8 cpd(cycles per degree)의 주파수 대역에서 인간의 눈이 최대감도를 갖고 있음을 보여준다. 본 논문에서 사용한 식(1)로 주어지는 Ngan⁶⁾이 제안한 MTF는 3 cpd에서 최대값을 갖는다.

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1.0(0.310 + 0.690f) \exp(-0.2905f) \\
 f &= \text{radial frequency (cycles/degree)} \\
 &= (f_x^2 + f_y^2)^{1/2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

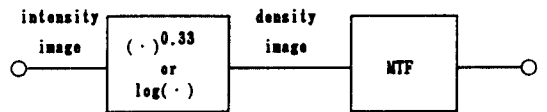
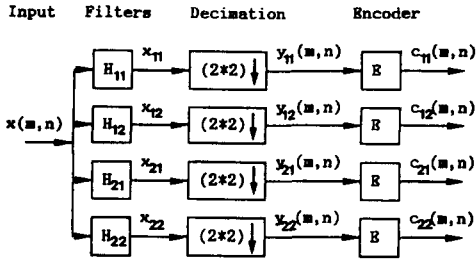


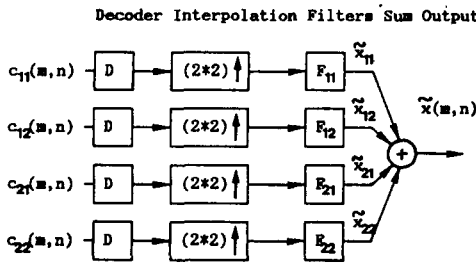
그림 1. 시각 시스템 모델
Fig. 1. HVS model.

III. Subband 코딩

이차원 영상 신호에 대한 기본적인 4채널 subband 부호화기의 블럭 구성도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 입력 영상 $x(m, n)$ 은 analysis 필터뱅크 H_{ij} , $1 \leq i, j \leq 2$ 를 통과하여 그림 3에서와 같이 주파수 영역에서 4-band로 분할되며, 열과 행의 각 방향으로 $(2*2)$



(a) 송신단



(b) 수신단

그림 2. 4-채널 subband 부호화기

Fig. 2. A subband coding system with four bands.

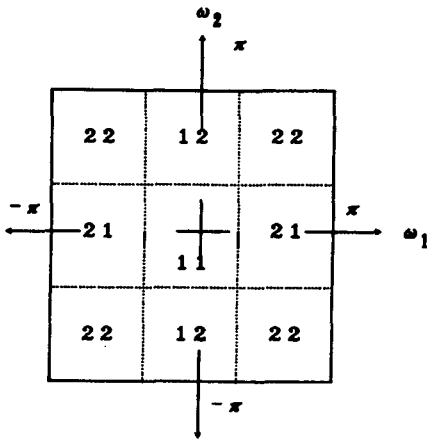


그림 3. 주파수 영역의 4-band 분할

Fig. 3. 4-band partition of frequency domains.

간축(decimation)과정 후 입력단에 비해 샘플링 주파수와 영상의 크기가 각각 1/4로 줄어든 subband 신호 y_{ij} 가 생성된다. 수신단에서는 (2*2) 보간(interpolation) 과정 후 synthesis 필터뱅크 F_{ij} 를 통과한 각 채널의 신호를 합하여 원영상을 재생시킨다. 16-band

분할은 위의 과정이 각 subband에 대해 반복됨으로써 구현된다. 그림2의 subband 부호화기에서 analysis/synthesis 필터뱅크 H_{ij}, F_{ij} 는 전체 시스템의 성능을 좌우하는 가장 중요한 부분으로 다음 조건들을 만족해야 한다. 즉 간축 과정으로 인해 각 subband에 발생하는 주파수 aliasing 현상이 synthesis 필터뱅크 F_{ij} 를 통과한 후 합해지는 과정에서 모두 제거되어야만 하며 encoder와 decoder가 생략되었을 경우 입력 영상을 완벽하게 재생시킬 수 있어야 한다. Esteban과 Galand^[8]는 음성신호에 대한 subband코딩 과정에서 이와 같은 조건들을 만족시키기 위해 일차원 quadrature mirror filter(QMF)를 제안하였으며 Vetterli^[9]는 이를 다차원(multi-dimension)으로 확장시켰다. 또한 Vetterli는 separable QMF를 사용함으로써 다차원 QMF 필터링을 일차원 QMF로 구현할 수 있음을 보였다. Separable QMF를 사용할때 그림 2의 H_{ij}, F_{ij} 는 다음과 같이 주어진다.

$$H_{ij}(\omega_1, \omega_2) = H_i(\omega_1) \cdot H_j(\omega_2) \quad 1 \leq i, j \leq 2 \quad (2a)$$

$$F_{ij}(\omega_1, \omega_2) = 4 \cdot (-1)^{i+j} H_i(\omega_1, \omega_2) \quad (2b)$$

$$H_2(\omega) = H_1(\omega + \pi) \quad (2c)$$

본 논문에서는 Woods와 O'neal의 방법^[7]에 따라 입력 영상 $x(m, n)$ 을 separable 2-D QMF를 사용하여 동일한 주파수 대역폭을 갖는 $M(=16)$ 개의 subband로 분할하였으며 DPCM 부호화기^[11]로 각 subband 신호를 코딩했다. 이때 각 subband에 할당되는 비트수 B_k 는 전체 평균 비트율 B 로 코딩할 때 MSE 기준에 의해서 다음 식(3)과 같이 주어지게 된다.^[10]

$$B_k = B + 1/2 \log_2 \frac{\sigma_{p,k}^2}{\sigma_{gm}^2}, \quad 1 \leq k \leq M \quad (3a)$$

$$B = 1/M \sum_{k=1}^M B_k \quad (3b)$$

$$\sigma_{gm}^2 \triangleq \left[\prod_{k=1}^M \sigma_{p,k}^2 \right]^{1/M} \quad (3c)$$

식(3a)의 $\sigma_{p,k}^2$ 는 다음 식(4)와 같이 정의되는 예측 MSE이며 식(4)에서 $E(\cdot)$ 는 평균값을, $a_k(i, j)$ 는 각 subband 신호에 대한 DPCM 부호화기의 최적 예측 계수를 나타낸다.

$$\sigma_{p,k}^2 \triangleq E \left[(y_k(m, n) - \sum_{i,j} a_k(i, j) y_k(m-i, n-j))^2 \right] \quad (4)$$

본 논문에서는 식(3a)에 의해 구해지는 각 subband에 할당되는 비트수 B_k 를 정수인 경우로 제안하였으며 이 경우 최적 비트 할당 방법은 다음과 같다.^[11]

(1) 가장 큰 $\sigma_{p,k}$ 를 갖는 subband에 1비트를 할당

한다.

- (2) 1비트를 할당받은 subband의 $\sigma_{p,k}$ 를 $\sigma_{p,k}/2$ 로 변환시킨다.
- (3) 모든 비트가 할당될때까지 (1),(2)의 과정을 반복한다.

DPCM 부호화기로 각 subband 신호를 코딩하는 경우 다음과 같은 부가 정보(overhead information)를 수신단에 전송해 주어야만 한다.

- (1) 각 subband에 대한 최적 예측 계수 $a_k(i, j)$
- (2) 각 subband에 대한 예측 오차 신호의 표준편차 $\sigma_{p,k}$
- (3) 각 subband에 할당된 비트수 B_k

본 논문에서는 각 부가 정보에 대해 다음과 같이 비트 할당을 하였다. 예측 계수 $a_k(i, j)$ 들은 [11]에서와 같이 6비트 균일 양자화기로 코딩하였으며 $\sigma_{p,k}$ 는 32비트로, B_k 는 3비트로 나타내었다. 따라서 $256 * 256$ 크기를 갖는 영상을 16 subband로 분할한 후, 각 subband 신호를 3점 최적 예측기와 적응 양자화기로 구성된 DPCM 부호화기로 코딩하는 경우 부가 정보량은 다음과 같이 주어지게 된다.

$$B_{ov} = \frac{16 * (3 * 6 + 32 + 3)}{256 * 256} \cong 0.01 \text{ bit/pixel} \quad (5)$$

IV. 시각 시스템을 이용한 Subband 코딩

제안된 방법은 그림 1의 시각 시스템 모델에 근거하여 입력 intensity 영상을 density 영상으로 변환시킨 후 III장에서 설명된 subband 코딩 과정을 수행한다. 로그 함수와 지수 함수(지수=0.33)를 각각 이용하여 얻은 density 영상에 대한 subband 코딩 결과에서 지수 함수를 이용했을 경우에 [2]에서와 같이 시각적인 면과 MSE에서 보다 우수한 영상을 재생시켰다. 따라서 본 논문에서는 지수 함수를 이용하여 intensity 영상을 density 영상으로 변환시켰다. 이와 함께 제안된 방법은 인간의 눈이 민감한 주파수 대역의 subband 신호를 보다 충실히 코딩하기 위해 subband 코딩의 비트 할당 과정에서 시각 시스템 모델의 MTF를 적용하여 구한 가중치를 각 subband에 곱해준다. 따라서 식(3a)의 비트 할당식은 다음과 같이 시각 특성을 고려한 가중 평균 자승 오차(WMSE)를 최소화하는 비트 할당식^{[10])}으로 변형된다.

$$B'_k = B + 1/2 \log_2 \frac{w_k^2 \sigma_{p,k}^2}{\sigma'^2_{gm}}, \quad 1 \leq k \leq M \quad (6a)$$

$$\sigma'^2_{gm} \triangleq \left[\prod_{k=1}^M w_k^2 \sigma_{p,k}^2 \right]^{1/M} \quad (6b)$$

각 subband에 곱해지는 가중치 w_k 는 Ngan이 제안한 식(1)의 MTF를 각 subband가 차지하는 주파수 대역에 대해 적분한 후 최대값으로 정규화시켜 구하였다. 이때 각 subband의 주파수 대역은 다음과 같이 구할 수 있다. 일반적인 거리에서 $256 * 256$ 크기의 영상을 관찰할때 6° 의 관찰각도(viewing angle)를 갖는다는 가정^{[11])}하에 샘플링 주파수 f_s 를 40(pels/degree)라고 하면 $(40 \text{ pels/degree} * 6 = 240 \cong 256)$, 수평 또는 수직 방향으로 나타날 수 있는 최대 공간 주파수 f_{max} 는 $f_s/2 = 20$ (cycles/degree)가 된다. 그리고 본 논문에서는 공간 주파수 대역을 동일한 대역폭을 갖는 16 subband로 분할하였으므로 각 방향으로의 subband 대역폭은 $20/4 = 5$ (cycles/degree)가 된다. 각 subband에 대한 가중치를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 ()안의 숫자는 각 가중치가 곱해지는 subband를 나타내는 것으로 11-11은 가장 낮은 주파수 대역의 subband를, 22-22는 가장 높은 주파수 대역의 subband를 가르킨다(그림 3 참조). 식(6)에 의한 비트 할당은 이와 같은 가중치를 사용함으로써 식(3)에 의한 결과와 비교해 낮은 주파수 대역의 subband에 보다 많은 비트를 할당하게 됨을 예측할 수 있다.

표 1. 16 subband에 대한 가중치
Table 1. Weights for 16 subbands.

1.000 (11-11)	0.6375 (11-12)	0.2555 (12-11)	0.0854 (12-12)
0.6375 (11-21)	0.3944 (11-22)	0.1727 (12-21)	0.0621 (12-22)
0.2555 (21-11)	0.1727 (21-12)	0.0856 (22-11)	0.0344 (22-12)
0.0854 (21-21)	0.0621 (21-22)	0.0344 (22-21)	0.0155 (22-22)

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

실험에 사용된 $256 * 256$ 크기와 256 계조도(gray level)를 갖는 흑백 GIRL, COUPLE 영상을 그림 4에 나타내었다. subband 코딩에서 부호화 효율을 높이고 재생 오차를 줄이기 위해서는 좁은 천이 대역폭(transition bandwidth)과 저지 대역(stop band)에서 작은 맥동(ripple)을 갖는 QMF를 사용해야 한다. 이 두 조건은 높은 차수의 필터를 사용하여 근사적으로 만족시킬 수 있지만 계산량의 많은 증가를 가져오므로 적절한 차수를 선택해야 한다. 그리고 천이 대역폭은 부호화 효율에만 영향을 미치지므로 같은



그림 4. 실험에 사용된 표본 영상

Fig. 4. Test images used for the simulations.

- (a) GIRL image (256*256, 8-bit/pixel),
- (b) COUPLE image (256*256, 8-bit/pixel).

차수의 필터들 중에서는 작은 맥동을 갖는 필터를 선택하는 것이 재생 오차를 적게 해준다. 본 실험에서는 이와 같은 점을 고려하여 Johnston이 설계한 QMF^[12]들 중에서 A 계열의 16차 QMF를 사용해 16 subband로 분할하였다. 16-A QMF는 [12]에 나타나있듯이 0.14 radian의 정규화(normalized) 천이 대역폭과 60-80dB에 이르는 저지 대역 감쇠를 갖는다. 따라서 보다 이상적인 필터를 사용함으로써 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있겠으나, 본 논문에서는 주 목적이 subband 코딩에 시각 시스템 모델을 이용하는 방법과 그 효과를 알아보는데 있으므로 그대로 사용하였다. 필터링은 공간 영역에서 circular convolution^[13]을 통해 수행되었으며 코딩 과정이 생략된 경우에 재생된 영상들의 PSNR은 48.1dB로써 원 영상과 시각적으로는 구별할 수 없었다. 각 subband 신호 $y_k(m, n), 1 \leq k \leq 16$, 은 3점 최적 이차원 예측기^[14]와 MAX의 라플라시안 비균일 양자화기^[15]로 구성된 DPCM 부호화기로 코딩하였다. 이 경우 부가 정보량은 식(5)에서와 같이 0.01 bpp(bits per pixel)이 된다.

본 논문에서 제안한 방법(SBC+HVS)과 시각 특성을 고려하지 않은 subband 코딩 방법(SBC)에 의해 재생된 영상의 PSNR을 표 2에, GIRL 영상에 대한 비트 할당 결과를 표 3에 나타내었다. 이들 결과를 비교해 볼 때 제안된 방법은 낮은 주파수 대역의 subband에 보다 많은 비트를 할당하며 PSNR에 있어 약 0.5dB 향상된 결과를 보인다. 이와같은 PSNR의 향상은 식(3)의 비트 할당식이 sub-optimum인 까닭으로서 최적인 비트 할당은 큰 $\sigma_{p,k}$ 를 갖는 저주파수 대역의 subband에 보다 많은 비트를 할당하는

표 2. 재생된 영상의 PSNR

Table 2. PSNR's of the reconstructed images.

SBC	1.0 bpp	0.75 bpp	0.5 bpp
GIRL	31.85	30.76	29.07
COUPLE	31.32	30.78	28.91
SBC+HVS	1.0 bpp	0.75 bpp	0.5 bpp
GIRL	32.06	31.08	29.56
COUPLE	32.00	31.34	29.84

표 3. GIRL 영상에 대한 비트 할당표

Table 3. Bit allocation table for GIRL image.

subband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	bpp
(a)	4	3	2	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1.0
(b)	5	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
(a)	4	2	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.75
(b)	5	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75
(a)	3	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
(b)	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5

것을 요구하기 때문이다.^{[14][15]} 즉 식(6a)의 WMSE에 의한 비트 할당이 이론적으로 최적인 비트 할당에 더욱 근사한 결과를 냈기 때문이라고 생각된다.

객관적 평가 기준인 PSNR은 시각 특성을 정확하게 고려해 주지 못한다. 따라서 제안된 방법이 PSNR에 있어 약간 향상된 성능을 보이지만 눈으로 직접 보아 판단하는 주관적 평가 방법을 도입하여 PSNR에 의한 결과와 비교해 볼 필요가 있다. 본 실험에서는 주관적 시각 평가를 위해 학습되지 않은 10명의 사람들로 하여금 1.0, 0.75, 0.5bpp에서 각 방법에 의해 재생된 영상의 사진 6장을 bubble sort^[2] 방법을 사용하여 보기 좋은 순서대로 나열하게 하였다. 그리고 순서대로 나열된 영상들에 대해 각각 5, 4, 3, 2, 1, 0점을 부가하였다. 여기에서 5점은 가장 우수하다고 판단된 영상에 할당되는 점수이다. 표4, 5에 그 결과를 나타내었으며 점수들은 평균값을 의미한다. 이들 결과로부터 알 수 있듯이, 주관적으로 사람이 보기에 제안된 방법이 동일한 비트율에서 모두 우수하며, 특히 제안된 방법에 의해 0.75 bpp에서 재생된 영상이 기존 방법에 의해 1.0 bpp에서 재생된 영상 보다 시각적으로 우수하다는 평가를 받았다. 각 방법에 의해 0.75bpp에서 재생된 영상을 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

표 4. GIRL 영상에 대한 주관적 성능 평가 점수
Table 4. Scores of subjective evaluation for GIRL image.

GIRL	1.0 bpp	0.75 bpp	0.5 bpp
SBC	2.7	1.8	0.0
SBC+HVS	5.0	4.0	1.5

표 5. COUPLE 영상에 대한 주관적 성능 평가 점수

Table 5. Scores of subjective evaluation for COUPLE image.

COUPLE	1.0 bpp	0.75 bpp	0.5 bpp
SBC	2.5	2.2	0.0
SBC+HVS	4.9	4.0	1.4



그림 5. 0.75 bpp에서 재생된 GIRL 영상
Fig. 5. Reconstructed GIRL image at 0.75 bpp.
(a) SBC (b) SBC+HVS



그림 6. 0.75 bpp에서 재생된 COUPLE 영상
Fig. 6. Reconstructed COUPLE images at 0.75 bpp.
(a) SBC (b) SBC+HVS

VI. 결 론

본 논문에서는 동일한 비트율에서 시각적으로 보

다 좋은 품질의 영상을 재생시키기 위해 기존의 subband 코딩 방법에 시각 특성을 고려한 영상 코딩 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 입력 intensity 영상을 density 영상으로 변환시킨 후, 시각 시스템의 공간 주파수에 대한 감도 차이를 고려하여 가중 평균 자승 오차(WMSE)를 최소화하도록 비트를 할당하였다. 시뮬레이션 결과에서 위와 같은 방법은 시각 특성을 고려하지 않은 경우와 비교하여 주관적 및 객관적으로 향상된 영상을 재생시켰다.

시각 시스템은 공간 주파수에 대해 anisotropic한 감도 특성을 갖고 있다. 그러므로 방향성을 갖고있는 이차원 QMF를 사용해 주파수 영역을 분할함으로써 subband 부호화기의 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 컬러 영상을 대상으로 코딩하는 경우, 이에 알맞는 시각 시스템을 모델링하여 효과적으로 subband 코딩과 결합시키는 방법에 대한 연구가 요구된다. 또한 subband 부호화기 자체의 성능 향상을 위해 보다 이상적인 필터 설계에 대한 연구와 각 subband를 통계적 특성에 최적인 방법으로 코딩하는 것에 대한 연구가 필요하다.

參 考 文 獻

- [1] T.G. Stockham, "Image processing in the context of a visual model," *Proc. IEEE* vol. 60, pp. 828-842, July 1972.
- [2] J.L. Mannos and D.J. Sakrison, "The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-20, pp. 525-536, July 1974.
- [3] D.J. Granrath, "The Role of human visual models in image processing," *Proc. IEEE*, vol. 69, pp. 552-560, May 1981.
- [4] 황재정, 이문호, "시각시스템 (Human Visual System)에 의한 영상 정보 압축 기술," 전자공학회지 제15권 제2호, pp. 148-154, 4월 1988.
- [5] B. Chitprasert and K.R. Rao, "Human visual weighted progressive image transmission," *ICCS'88, Intl. Conf. on Commun. System, Singapore, paper no. 17, 1, Nov. 1988.*
- [6] K.N. Ngan, K.S. Leong and H. Singh, "A HVS-weighted cosine transform coding scheme with adaptive quantization," *SPIE* vol. 1001, *Visual Commun. and Image Processing '88*, pp. 702-708.
- [7] J.W. Woods and S.D. O'neal, "Subband coding of images," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-34, pp. 1278-1288, Oct. 1986.

- [8] D. Esteban and C. Galand, "Application of quadrature mirror filters to split band voice coding schemes," in *Proc. ICASSP*, pp. 191-195, May 1977.
- [9] M. Vetterli, "Multi-dimensional sub-band coding: Some theory and algorithms," *Signal Processing*, vol. 6, pp. 97-112, Apr. 1984.
- [10] N.S. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveforms*, Englewood cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
- [11] P.A. Maragos, R.W. Schafer and R. M. Mersereau, "Two-dimensional linear prediction and its application to adaptive predictive coding of images," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-32., pp. 1213-1229, Dec. 1984.
- [12] J.D. Johnston, "A filter family designed for use in quadrature mirror filter banks," in *Proc. 1980 ICASSP*, pp. 291-294.
- [13] Mark J.T. Smith and Steven L. Eddins, "Subband coding of images with octave band tree structures," in *Proc. 1987 ICASSP*, pp. 1382-1385.
- [14] T.A. Ramstad, "Consideration on quantization and dynamic bit allocation in subband coders," *ICASSP 86, TOKYO*, pp. 841-844, 1986.
- [15] P.H. Westerlink, J. Biemond and D.E. Boekee, "An optimal bit allocation algorithm for subband coding," in *Proc. 1988 ICASSP*, pp. 757-760.

 著 者 紹 介



朴 容 徹 (正會員)

1963年 4月 7日生. 1987年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업. 1989年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1989年 3月~현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주 관심분야는 디지털 신호 처리 및 영상통신 등임.



金 銀 淑 (正會員)

1966年 8月 11日生. 1988年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업. 1990年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1990年 5月~현재 한국전기통신공사 전임 연구원. 주 관심분야는 디지털 신호처리 등임.

車 日 煥 (正會員) 第26卷 第3號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수

尹 大 熙 (正會員) 第26卷 第3號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 부교수