

論文 90-27-8-15

정지 영상을 위한 DCT 영역에서의 분류화 벡터 양자화 방법

(A New Classified VQ Algorithm for Still Images in DCT Domain)

任 昶 勳*, 金 在 均**

(Chang Hoon Yim and Jae Kyoon Kim)

要 約

DCT 영역에서의 새로운 분류화 벡터 양자화 방식(DCT-CVQ)을 제안하였다. 영상의 가장자리 형태와 DCT 변환계수의 에너지 분포 특성을 잘 나타내는 2개의 변환계수에 의하여, 각 DCT 블록을 6개의 부류로 분류하였다. 그리고 VQ의 복잡도를 줄이고 효율적인 부호화가 되도록 하기 위하여 DCT 블록 내의 변환계수들을 몇개의 벡터로 분할하고, 각 부류의 각 벡터마다 부호책의 크기를 달리하는 적응 기법을 사용하였다, 즉 높은 에너지를 갖는 가장자리 부류에 대해서는 부호책 크기를 크게 함으로써, 시각 특성에 가장 큰 영향을 미치는 가장자리 부분을 잘 재생하게 하였다. 시뮬레이션 결과로 DCT-CVQ는 낮은 전송률에서도 좋은 주관적 특성을 나타내었고, SNR은 다른 DCT-VQ 방식에 비하여 0.2~0.5 bpp에서 1.5~4.0 dB 정도의 성능 향상을 보였다.

Abstract

A new classified VQ scheme for DCT coefficients (DCT-CVQ) is proposed for still image coding. DCT coefficient matrices are classified into six classes by ac coefficients that well represent edge characteristics and the distribution of ac energy in the DCT domain. To reduce the complexity of VQ, ac transform coefficients are partitioned into several vectors, and an adaptive method is provided by making different codebook sizes for different classes. Simulation results show that this DCT-CVQ results in good subjective quality at low bit rates, and SNR is increased by about 1.5-4.0 dB in the range 0.2-0.5 bpp, when compared with other DCT-VQ coding schemes.

I. 서 론

벡터 양자화(vector quantization: VQ)는 저 전송률

의 영상 부호화를 위해 최근 많은 연구가 진행되어 왔으며, 다양한 구조의 VQ들이 변환, 예측을 이용하는 기존의 영상 부호화 기법과 결합되어 사용되어 왔다.^[1] 그 중 분류 벡터 양자화(classified VQ: CVQ)는 가장자리(edge)의 방향성에 따라 부류(class)를 나누고 각 부류마다 따로 부호책(codebook)을 설계하는 방식으로 VQ의 문제점인 가장자리 손상(edge degradation)과 계산량 문제에 있어서 효과적인 방식으로 알려져 있다.^[2]

*正會員, 韓國放送公社
(Korean Broadcasting System)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣및 電子工學科
(Dept. of Electrical Eng., KAIST)
接受日字: 1989年 12月 13日

그런데 공간 영역에서의 VQ는 블록 크기가 4×4 보다 클 때에는 가장자리에서의 손상이 심해지고 계산량이 많아지기 때문에,^[5] 공간 영역에서 VQ를 할 때에는 블록 크기가 4×4 정도가 적당하며, 이로 인하여 대체로 0.5bpp 미만의 낮은 전송률에서는 좋은 성능을 나타내기가 어렵다. 이에 비해 변환 영역(transform domain)에서의 VQ는 블록 크기를 8×8 정도로 크게 하면서, 변환에 의해 에너지 집중 현상이 발생하여 적은 에너지를 가지는 높은 주파수 계수들을 truncation하는 조날 부호화(zonal coding)를 가능하게 한다. 또한 데이터가 decorrelate 되므로 가장자리 손상이 줄어들어 시각적인 성능이 향상되므로 0.5 bpp 미만의 낮은 전송률에서도 좋은 성능을 나타낼 수 있다.^[4]

지금까지 제안된 DCT 영역에서의 CVQ 방식으로 는 4×4 블록에서 DCT를 한 다음, 에너지 집중 부분의 차이에 따라 분류를 한 후, 각 부류마다 각각 다른 모양으로 벡터를 구성하여 VQ하는 방식^[5]과, 8×8 블록에서 DCT를 한 다음, 가장자리의 특성과 관계있는 각각 다른 부분의 변환 계수의 절대값의 합에 의하여 4개의 부류로 나누고, 각 부류마다 다른 밴드 분할로 벡터를 구성하여 VQ하는 방식^[6] 등이 제안되었다. 그리고 DCT 변환계수 중 가장자리 특성과 관계있는 4개의 변환계수에 대해서 군찾기(clustering) 알고리즘(LBG 알고리즘^[3])을 적용하여 분류화를 한 다음, 공간 영역에서 VQ하는 방식도 제안되었다.^[7]

그런데 DCT 영역에서의 CVQ는 분류화 방식이 우선 공간 영역에서의 가장자리 특성과 상관성이 있어야 하며, 또한 DCT 영역에서의 변환 계수의 에너지 분포와도 상관성이 있어야 한다.

본 논문에서는 가장자리와 DCT 변환계수와의 관계를 분석하여, 가장자리의 특성과 DCT 영역에서의 에너지 분포 특성을 잘 나타내 주는 2개의 변환계수에 의한 분류화를 제안하고, 분류된 각 부류의 벡터들에 대해서 그 에너지에 따라 부호책 크기를 달리 하는 적응 부호화 기법^[8,9]을 적용하여, 0.5bpp 미만의 낮은 비트율에서도 좋은 성능을 나타내는 DCT-CVQ 방식을 제안하였다.

II. 가장자리와 DCT 변환계수와의 관계

DCT 영역에서 변환계수의 에너지 분포는 공간영역에서의 가장자리 특성과 밀접한 관계가 있다.^[6] 본 장에서는 dc 계수와 인접한 2개의 변환계수와 가장 자리와의 관계, 가장자리와 DCT 영역에서의 변환계

수들의 관계, 그리고 가장자리와 변환계수들의 전체적인 에너지 분포와의 관계를 살펴봄으로써, DCT 영역에서의 CVQ를 위한, 2개의 DCT 변환계수에 의한 분류화의 이론적인 근거를 제시하고자 한다.

2차원 DCT를 행렬에 관한 식으로 나타내기 위해 변환계수 행렬을 Y, 공간영역의 영상 블록 행렬을 X 1차원 DCT 변환행렬을 T, T의 전치 행렬을 T^t로 나타내면, 2차원 DCT 식은 다음과 같다.

$$Y = T \cdot X \cdot T^t \tag{1}$$

N×N DCT의 경우 식(1)을 각 원소에 대한 식으로 표현하면 식(2)와 같다.

$$y_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} t_{ik} x_{kl} t_{jl} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} t_{ik} t_{jl} x_{kl} \tag{2}$$

여기에서 각 DCT 변환계수의 특성을 쉽게 알기 위하여, A, B를 각각 N×N 행렬이라 하고, 그 원소를 각각 a_{k1}, b_{k1} |k, l=0, 1, ..., N-1|이라 할 때, 다음과 같은 행렬 연산*를 정의한다.

$$A * B = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} a_{kl} b_{kl} \tag{3}$$

여기에서 t_i를 T의 i번째 행 벡터라 하면,

$$T = [t_0^t, t_1^t, \dots, t_{N-1}^t]^t \tag{4}$$

이고, 식(2)를 식(3)의 연산을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$y_{ij} = (t_i^t t_j) * X \tag{5}$$

여기에서,

$$Z^i = t_i^t t_j \tag{6}$$

인 N×N 행렬 Zⁱ를 정의하여 식(5)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$y_{ij} = Z^i * X \tag{5a}$$

이와 같이 정의된 Zⁱ는 DCT 변환계수 y_{ij}를 구하기 위하여, 영상 블록 내의 각 원소에 곱해지는 상수의 행렬을 나타내며, 이와 같은 Zⁱ 행렬에 의하여 행렬 X에 나타난 가장자리 형태와 변환계수 y_{ij}와의 관계를 쉽게 파악할 수 있다.

가장자리와 각 변환계수의 관계를 살펴보기 위하여 여기에서는 4×4 DCT의 경우를 예로하여 설명하기로 한다. 4×4 DCT의 변환 행렬 T는 다음과 같다.^[10]

$$T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \\ c_3 & -c_1 & c_1 & -c_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서

$$c_1 = \cos(\pi/8), c_2 = \cos(2\pi/8), c_3 = \cos(3\pi/8)$$

이제 변환계수 y_{01}, y_{10} 와 가장자리와의 관계를 살펴 보기 위하여 식(6)에 의하여 Z^{01}, Z^{10} 를 구해보면 각각 다음과 같다.

$$Z^{01} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \\ c_1 & c_3 & -c_3 & -c_1 \end{bmatrix} \quad (8a)$$

$$Z^{10} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_1 & c_1 & c_1 & c_1 \\ c_3 & c_3 & c_3 & c_3 \\ -c_3 & -c_3 & -c_3 & -c_3 \\ -c_3 & -c_1 & -c_1 & -c_1 \end{bmatrix} \quad (8b)$$

식(8a)의 Z^{01} 으로 부터 왼쪽 부분의 값들은 양(+)
의 상수이고, 오른쪽 부분의 값들은 음(-)의 상수
이므로 수직 가장자리가 있는 경우에는 y_{01} 의 절대값
이 커지는 것을 알 수 있다.

구체적으로 수직 가장자리와 y_{01}, y_{10} 의 관계를 알
아보기 위하여 4×4 영상 블록 내에는, 그림 1의 (a),
(b), (c) 3가지 경우의 수직 가장자리 형태가 있다고
가정한다. 그림 1에서 g 는 일정값의 밝기(gray level)
를 나타내고, Δ 는 가장자리에서 밝기의 변화량을
나타내며, Δ 의 부호는 가장자리의 극성, 즉 블록 내
에서의 밝기의 변화 방향을 나타낸다. 그림1의 (a),
(b), (c) 각 경우에 y_{01}, y_{10} 를 구해보면,

$$\begin{aligned} (a) \quad y_{01} &= 1/\sqrt{2} c_1 \Delta, & y_{10} &= 0 \\ (b) \quad y_{01} &= 1/\sqrt{2} (c_1 + c_3) \Delta, & y_{10} &= 0 \\ (c) \quad y_{01} &= 1/\sqrt{2} c_1 \Delta, & y_{10} &= 0 \end{aligned}$$

이고, 위의 세 경우의 y_{01} 과 y_{10} 의 평균을 계산해 보
면 다음과 같다.

$$y_{01} = 0.743\Delta, \quad y_{10} = 0 \quad (9)$$

따라서 수직 가장자리가 있는 경우에는 $y_{10} = 0$ 이고
 y_{01} 의 절대값은 Δ 에 비례하여, y_{01} 의 극성에
의하여 가장자리의 극성도 알 수 있다.

이와 같은 성질은 그림 1에 나타난 이상적인 수직
가장자리의 경우뿐 아니라, 실제적으로 영상 블록내

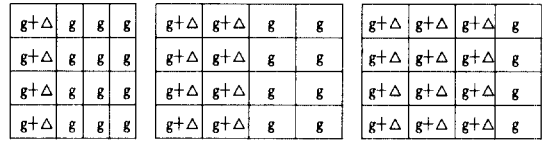


그림 1. 수직 가장자리가 있는 경우의 영상 블록
(4×4)

Fig 1. Image block of vertical edge (4×4).

에 수직 가장자리 성분이 있는 경우에는 마찬가지로
성립한다. 즉 영상 블록내의 수직 가장자리 성분의
변화량에 비례하여 y_{01} 의 절대값이 커지며, y_{01} 의 극
성은 수직 가장자리의 극성을 나타낸다. 그리고 같은
방법으로 y_{10} 와 수평 가장자리의 관계를 구해보면, y_{01}
과 수직 가장자리의 관계와 같음을 알 수 있다.

이와 같은 결과를 그림으로 나타내면 그림 2와 같
은데, 여기에서 빗금친 부분은 밝기가 어두운 부분
을, 빗금이 없는 부분은 밝은 부분을 나타낸다.

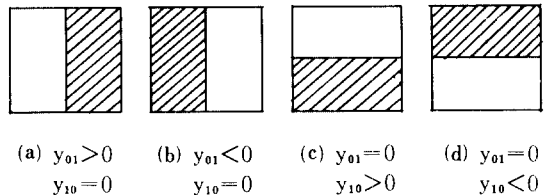
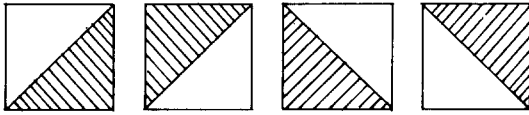


그림 2. 영상 블록내의 수직, 수평 가장자리와 DCT
변환계수 y_{01}, y_{10} 의 관계

Fig 2. The relationship of DCT coefficient y_{01}, y_{10}
and vertical, horizontal edge in image block.

대각 가장자리는 수직과 수평 가장자리의 성분을
동시에 가지고 있는 가장자리라 할 수 있다. 따라서
대각 가장자리가 있는 경우에는 y_{01}, y_{10} 의 절대값이
모두 커지게 되며, 그 극성도 수직, 수평 가장자리
에서의 극성 형태를 그대로 유지한다. 대각 가장자
리와 y_{01}, y_{10} 의 관계를 위와 같은 방법으로 구해보면,
그 결과는 그림 3과 같다.

이상의 관계는 그림 1, 4와 같은 이상적인 경우 이
외에, 가장자리의 구분이 명확치 않은 실제 영상 블
록에서도 마찬가지로 성립한다. 즉, 수직 혹은 수평
가장자리 성분의 변화량에 비례하여 y_{01} 혹은 y_{10} 의
절대값이 커지며, 그 극성에 의하여 가장자리의 극
성도 알 수 있다. 이제 y_{01}, y_{10} 를 제외한 나머지 변



(a) 45°(+) $y_{01} > 0$, $y_{10} > 0$
 (b) 45°(-) $y_{01} < 0$, $y_{10} < 0$
 (c) 135°(+) $y_{01} < 0$, $y_{10} > 0$
 (d) 135°(-) $y_{01} > 0$, $y_{10} < 0$

그림 3. 영상 블럭내의 대각 가장자리와 DCT 변환계수 y_{01}, y_{10} 의 관계

Fig. 3. The relationship of diagonal edge and DCT coefficient y_{01}, y_{10} in image block.

$g+\Delta$	g	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g
g	g	g	g	$g+\Delta$	g	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g
g	g	g	g	g	g	g	g	$g+\Delta$	g	g	g
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g

(a)

$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$
$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$
$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$
$g+\Delta$	g	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g	g	$g+\Delta$	$g+\Delta$	$g+\Delta$	g

(b)

그림 4. 대각 가장자리가 있는 경우의 영상 블럭 (4×4)

Fig. 4. Image block of diagonal edge (4×4).

환 계수들과 가장자리와의 관계를 살펴보면, 다음과 같은 관계가 있다는 것을 알 수 있다.

첫째, 수평, 수직, 대각 모든 가장자리의 경우에 있어서, 가장자리 극성이 반대인 경우에도 변환계수의 특성은 평균적으로 같다.

둘째, 대각 가장자리에서 45°와 135°의 경우, 변환계수의 특성은 평균적으로 같다. 위의 관계를 알아보기 위해 4×4 영상 블럭 내에 45° 대각 가장자리가 있는 경우에는 그림 4와 같은 6가지 경우가 있다고 가정하고, 135° 대각 가장자리는 각 경우의 영상 블럭을 시계 방향으로 90° 회전한 경우라고 가정한다.

예를 들어 변환계수 y_{02} 의 경우에 위의 관계가 성립하는 것을 설명하면 다음과 같다. 앞에서 정의한 식(6)에 의하여 Z^{02} 를 구하면

$$Z^{02} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \begin{bmatrix} c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \\ c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \\ c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \\ c_2 & -c_2 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

식(5a), (10)에 의하여 그림 4의 45° 대각 가장자리와 거기에 해당하는 135° 대각 가장자리의 각 경우에 y_{02} 를 구해보면 표 1과 같은 관계를 얻는다.

표 1. 대각 가장자리 경우의 $y_{02}, 4\sqrt{2}/\Delta$
 Table 1. $y_{02}, 4\sqrt{2}/\Delta$ in case of diagonal edge.

	45°	135°
(a)	C_2	C_2
(b)	C_2	C_2
(c)	0	0
(d)	0	0
(e)	$-C_2$	$-C_2$
(f)	$-C_2$	$-C_2$

표 1에서 보면 45°와 135°의 두 경우 다 변환계수의 평균이 0이며 (a)와 (f), (b)와 (e), (c)와 (d)의 경우에 각각 부호가 반대이다. 따라서 대각 가장자리의 경우에 y_{02} 는 앞에서 설명한 첫째 성질을 만족하고 이런 관계는 수직, 수평 가장자리의 경우에도 성립한다. 또한 y_{01}, y_{10} 를 제외한 다른 변환계수에 대해서도 식(6)에서 정의된 행렬 Z 를 구하여 가장자리와의 관계를 살펴보면 첫째 성질이 성립하는 것을 알 수 있다.

다음으로 표 1에서 보면 45°와 135° 각각의 경우에 그 값이 같으므로 변환계수 y_{02} 의 경우에는 앞의 둘째 관계가 성립한다. 그리고 y_{01}, y_{10} 를 제외한 다른 변환계수에 대해서도 앞에서 정의한 행렬 Z 를 이용하여 표 1과 같은 결과를 각각 구해보면, 그 평균은 0이 되고, y_{02} 의 경우와 같이 대각 가장자리의 (a)~(f) 모든 경우에 있어서 그 값이 같거나, 그 부호가 각각 반대이다. 따라서, y_{01}, y_{10} 를 제외한 다른 변환계수들에 대해서 앞의 둘째 관계가 성립한다. 이상에서 설명한 앞의 첫째, 둘째 성질은 그림 1, 4와 같은 이상적인 가장자리의 경우에 성립하는데, 실제적인 영상 블럭 경우의 가장자리 경우에서도 이와 같은 성질은 마찬가지로 성립한다.

DCT 영역에서의 변환계수들에 대해서 CVQ를 하기 위해서는 기본적으로 수직, 수평, 대각 가장자리 등의 가장자리 형태에 따라 분류를 해야 한다. 그런데, 각 가장자리에서 극성이 반대인 경우에도 변환계수의 특성은 앞의 첫째 성질에 의하여 평균적으로 같으므로, 공간 영역에서와는 달리 극성이 반대인 경우를 분류할 필요가 없다. 또한 앞의 둘째 성질에

의하여 45°와 135° 대각 가장자리의 경우에 그 계수들의 특성이 평균적으로 같으므로, 역시 공간 영역에서와는 달리 분류할 필요가 없다는 것을 알 수 있다.

다음으로 각 가장자리 경우에 있어서 DCT 영역에서 변환계수들의 전체적인 에너지 분포의 특성을 살펴보기 위하여, 수직, 수평 가장자리의 경우에는 그림 1과 같은 가장자리의 경우에 대하여, 그리고 대각 가장자리에 대해서는 그림 4에 나타난 가장자리의 경우에 대하여 각 변환계수들의 분산을 구해서 Δ^2 으로 나누면, 표 2와 같은 결과를 얻는다. 여기에서 분산은 변환계수의 ac 에너지를 의미하므로, 표 2에서 보면 수직 가장자리의 경우에는 위 부분의 변환계수에, 수평 가장자리의 경우에는 왼쪽의 변환계수에 에너지가 집중적으로 모이는 것을 알 수 있다. 이에 비해 대각 가장자리의 경우에는 좌측 상단의 변환계수에 에너지가 모이지만 그 집중도는 수직, 수평의 경우보다 떨어지며, ac 에너지가 전체적으로 커지는 것을 알 수 있다.

표 2. 가장자리 경우에 대한 DCT 변환계수들의 분산/ Δ^2

(a) 수직 (b) 수평 (c) 대각

Table 2. The variance/ Δ^2 of DCT coefficients in each edge case.

(a) vertical, (b) horizontal, (c) diagonal.

*	.57	.17	.10	*	0	0	0	*	.16	.01	.002
0	0	0	0	.57	0	0	0	.16	.09	.03	.005
0	0	0	0	.17	0	0	0	.01	.03	.03	.01
0	0	0	0	.10	0	0	0	.002	.005	.01	.03

(a)

(b)

(c)

이상에서 4×4 블록의 경우에 DCT 변환계수와 가장자리와의 관계를 살펴보았는데, 8×8 블록의 경우에도, 위에서 설명한 4×4 블록의 경우와 거의 비슷한 특징을 갖는다.

III. 가장자리 특성에 의한 DCT 영역에서의 분류화

II절에서 살펴본 바와 같이 DCT 변환계수와 가장자리와의 관계를 이용하여, 변환계수 y_{01}, y_{10} 에 의하여 DCT 변환계수의 블록을 다음과 같은 4개의 부류로 나눌 수 있다.

○균일 ○수직 ○수평 ○대각

예기에서 대각 가장자리는 45°와 135°의 각도를 갖는 2가지 경우를 포함하고 표 2에서와 같이 변환계수의 에너지가 전체적으로 커지기 때문에 부류를 더 세분할 필요가 있다. 대각 가장자리는 변환계수의 특성이 가장자리의 각도와 극성에는 무관하기 때문에 ac 에너지에 따라 부류를 나누면 효과적이다. 그런데 y_{01}, y_{10} 의 절대값은 대체로 전체의 ac 에너지를 나타내주므로, 여기에서는 y_{01}, y_{10} 의 절대값에 의하여 대각 가장자리 부류를 세분하였다.

대각 가장자리를 몇 개의 부류로 세분하느냐 하는 문제는 비트율과 영상의 시뮬레이션 결과를 고려하여 실험적으로 결정하였는데, 여기에서는 2개의 부류로 세분하였다. 그리고 가장자리 성분이 거의 없는 균일 부류와 가장자리 부류 사이에 약간의 가장자리 성분이 있는 중간 부류를 설정하였다.

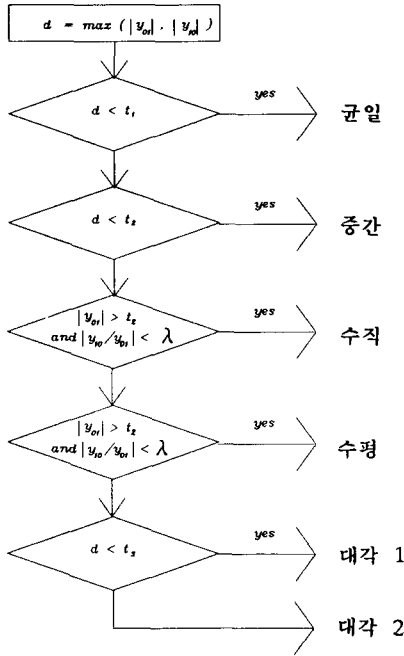
그리고 수직, 수평 가장자리와 대각 가장자리는 각각 $|y_{01}/y_{10}|$ 와 $|y_{10}/y_{01}|$ 의 비율에 따라 세분하였다. 즉, 실제 영상 블록내에 수직 성분이 많은 경우에는 $|y_{01}/y_{10}|$ 가 커지고, 수평 성분이 많은 경우에는 $|y_{10}/y_{01}|$ 이 커지는 반면, 대각 가장자리에 가까워질 때는 $|y_{01}|$ 과 $|y_{10}|$ 모두가 커져서 $|y_{01}/y_{10}|$ 와 $|y_{10}/y_{01}|$ 이 수직, 수평 가장자리에 비하여 각각 작아진다. 따라서, 수직과 대각 가장자리, 수평과 대각 가장자리의 구분은 $|y_{01}/y_{10}|$ 와 $|y_{10}/y_{01}|$ 의 비율에 따라 각각 구분하였으며, 그 임계값(threshold)은 시뮬레이션을 통하여 실험적으로 결정하였다.

이와 같이 DCT 영역의 분류화에서 부류의 종류는 균일, 중간, 수평, 수직과 2개의 대각 가장자리의 6개로 하였고, 그 분류화 과정을 나타내면 그림 5와 같다.

IV. DCT-CVQ의 구성

DCT-CVQ를 할 때, 낮은 비트율로 하기 위해서는 블록 크기가 4×4 보다는 8×8이 더 적절할데, 그 이유는 4×4 경우의 DCT는 8×8 경우보다 에너지 집중(energy compaction)효과가 작고, dc 값에 대한 비트 할당과 부류값 전송에 필요한 비트가 8×8 경우보다 상대적으로 커지기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 8×8 블록에 대해서 DCT-CVQ를 하였고, 8×8 블록에서 조날 밴드(zonal band)에 의하여 변환계수들을 벡터로 분할하는 방법은 그림 6과 같다.^[9]

그림 6에서 V_0 는 dc 값이므로 균등 스칼라 양자화기를 사용하여 부호화 하고, 에너지가 작은 벡터는 truncation 하여 부호화 하지 않는다. VQ해서 전송하는 벡터를 V_1, V_2, \dots, V_L 이라 하고, 부류의 갯수를



t₁: 균일과 중간을 분류하는 임계값
 t₂: 중간과 가장자리를 분류하는 임계값
 t₃: 대각 가장자리를 분류하는 임계값
 λ: 수직, 수평 가장자리와 대각 가장자리를 분류하는 임계값

그림 5. DCT 영역에서의 분류화
 Fig. 5. The classification in the DCT domain.

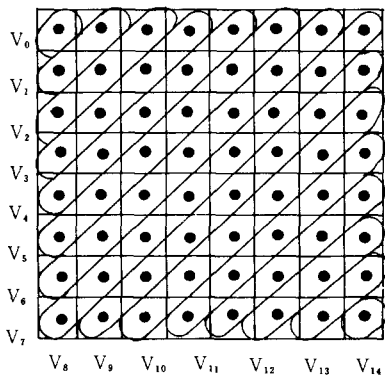


그림 6. 변환계수들의 벡터화 (8×8)
 Fig. 6. Vectorization of transform coefficients (8×8).

M이라 할 때, DCT-CVQ의 송신단 구성을 나타내면 그림 7과 같다. 여기에서 Y_j는 벡터 V_i, 부류 j에 대한 부호책을 나타낸다.

DCT된 블록이 부류 j에 속할 확률을 p_j, dc 값을 전송하는데 필요한 비트를 B_{dc}, 부류를 전송하는데 필요한 비트를 B_c, 벡터 V_i, 부류 j에 할당되는 비트를 b_{ij}라 하면, 한 블록의 전송에 필요한 평균 비트 B는 다음과 같다.

$$B = B_{dc} + B_c + \sum_{j=1}^M p_j \sum_{i=1}^L b_{ij} \quad (11)$$

여기에서 B_c는 Huffmann coding^[11] 방법으로 부호화 하며, 부류가 6개인 경우, 대체로 2.5 비트 미만으로 부호화 할 수 있다.

식 (11)에서 각 부류의 각 벡터에 할당되는 비트 b_{ij}는 벡터의 ac 에너지에 해당되는 분산에 따라서 다르게 정해진다. 그런데 부류에 할당되는 비트를 달리하는 적응기법에 있어서 변환계수를 스칼라 양자화 할 때는, 각 부류의 각 변환계수의 분산에 의하여 할당되는 비트를 달리하는데 비하여,^[8] 변환계수를 벡터 양자화 할 때는, 각 부류의 각 벡터의 분산에 따라 할당되는 비트를 달리한다.^[9] 여기에서 벡터의 분산은 벡터 V_i의 차원을 k_i라 할 때, 다음과 같이 정의되는 벡터의 원소인 각 변환계수의 분산의 기하학적 평균이다.

$$\hat{\sigma}_i^2 = \left(\prod_{m=1}^{k_i} \sigma_{im}^2 \right)^{1/k_i} \quad (12)$$

σ_{im}: 벡터 V_i의 m번째 원소의 분산
 각 부류에서 각 벡터 V_i에 할당하는 비트 b_i는, Yamada 등이 구한 벡터의 왜곡치의 최소경계 (minimum bound)^[11]를 이용하면, DCT 변환계수의 확률 밀도 함수를 Laplacian으로 가정할 때, 다음과 같은 형태로 유도된다.^[9]

$$b_i = \frac{k_i}{2} \log_2 \left(\frac{C_{k_i} \hat{\sigma}_i^2}{D} \right) \quad (13)$$

여기서

$$C_{k_i} = \frac{2}{\pi} \frac{1}{k_i} \binom{k_i+2}{k_i}^{k_i+1} \left(\Gamma \left(\frac{k_i}{2} + 1 \right) \right)^{2/k_i}$$

식 (13)에서 D는 왜곡치로써, 전송율에 따라 각각 다르게 정해지는 상수이다.

비트 할당은 식 (11)에서의 블록당 평균 비트 B가 주어진 상태에서 각 부류의 각 벡터에 할당되는 비트인 b_{ij}와 왜곡치 D를 반복적으로 찾아가는 과정인데, 식 (11), (13)에 의하여 b_{ij}를 구하는 과정은 다음과 같다.

- 1) C_{k_i} (i=1, 2, ..., L)를 각각 계산하고, 부호책을 설계할 때 사용할 전체 영상에 대하여 p_j (j=1, 2, ..., M), σ_{ij}² (i=1, 2, ..., L, j=1, 2, ..., M)을 각각 구한다.

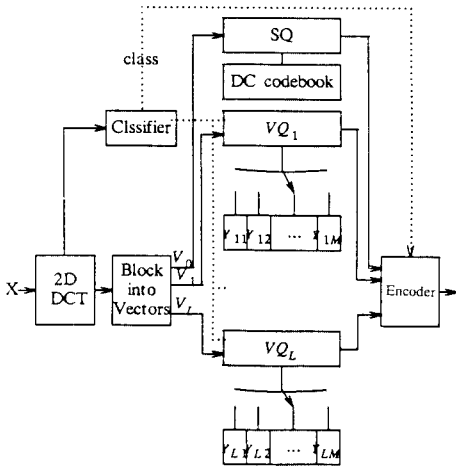


그림 7. DCT-CVQ의 송신단 구성도
Fig 7. The block diagram of DCT-CVQ encoder.

2) D를 적절한 값으로 초기화 한다.

3) σ_{ij}^2 이 D보다 작은 벡터는 truncation하고, 각 부류에 대해서 truncation되지 않는 벡터의 수 L_j ($L_j \leq L$)를 구한다.

4) $\sum_{i=1}^{L_j} b_{ij}$ 를 각 부류 ($j=1, 2, \dots, M$)에 대하여 구한다.

5) 4)의 과정에서 구해진 값을 이용하여, 식 (11)에서 D를 구한다.

6) σ_{ij}^2 이 D보다 작은 벡터는 truncation하고, 각 부류에서 σ_{ij}^2 이 D보다 커서 truncation되지 않는 벡터의 수 L_j 를 구하여, 이 때 구한 L_j 가 3)과 다르면 4)의 과정부터 다시 반복한다.

7) 위에서 구한 D에 의하여, 식 (13)에서 b_{ij} 를 각각 계산한다.

여기에서 b_{ij} 에 해당하는 부호책 크기는 $2^{b_{ij}}$ 이므로, 실제적으로 VQ를 구성할 때 메모리와 계산량 때문에 b_{ij} 를 10 이상으로 하기는 곤란하여, b_{ij} 가 10 이상 일 때는 9 또는 10으로 제한하였다. 그리고 이와 같이 구해진 b_{ij} 는 정수가 아닌데, 실제적인 부호책 크기를 결정하기 위해서는 b_{ij} 를 정수로 하여야 한다. 따라서 각 b_{ij} 를 가까운 정수값으로 근사화시켜서 식 (11)을 만족하도록 각 b_{ij} 를 구한다.

V. 실험 및 결과

IV절에서 설명한 DCT-CVQ 방식을 다음과 같은 실험 조건으로 시뮬레이션을 통하여 주관적 평가와 $10 \log_{10}[255^2 / \text{MSE}]$ 로 정의되는 SNR로 성능을 평가

하였다.

부류의 갯수 : 6

부류의 전송 : Huffman coding⁽¹¹⁾

dc 계수 양자화 : 균등 스칼라 양자화기

VQ 부호책 설계 : LBG 알고리즘⁽¹⁾

트레이닝 벡터로 사용한 영상 : 512×512 3장, 256×256 5장

실험 영상 (256×256) : Girl, Cronkite (트레이닝 벡터에 포함되지 않음)

임계값 (그림 5) : $\lambda = 0.2, t_1 = 20, t_2 = 50, t_3 = 90$

기존의 방식과 비교하기 위하여, 분류화를 하지 않는 DCT-VQ 방식과, Aizawa 등에 의하여 제안된 A-DCT-VQ 방식⁽⁹⁾에 대해서 시뮬레이션을 하였다. A-DCT-VQ 방식은 ac 에너지에 의하여 4개의 부류로 나눈 다음, 각 부류에 같은 수의 트레이닝 벡터가 포함되게 하여 VQ하는 방식이다.

그림 8, 9는 Girl과 Cronkite 영상을 0.407 bpp (26 bit/64 pel)에서 DCT-VQ, A-DCT-VQ 방식과 본문에서 제안한 방식인 DCT-CVQ 방식에 대해서 각각 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

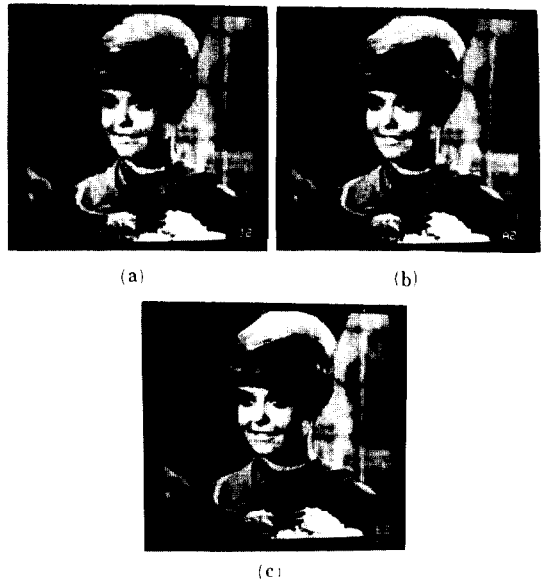


그림 8. 0.407 bpp에서 재생된 영상 (Girl)
(a) DCT-VQ, SNR=28.35 dB
(b) A-DCT-VQ, SNR=29.65 dB
(c) DCT-CVQ, SNR=32.26 dB
Fig 8. Reconstructed image (Girl) at 0.407 bpp.
(a) DCT-VQ, SNR=28.35 dB,
(b) A-DCT-VQ, SNR=29.65 dB,
(c) DCT-CVQ, SNR=32.26 dB.

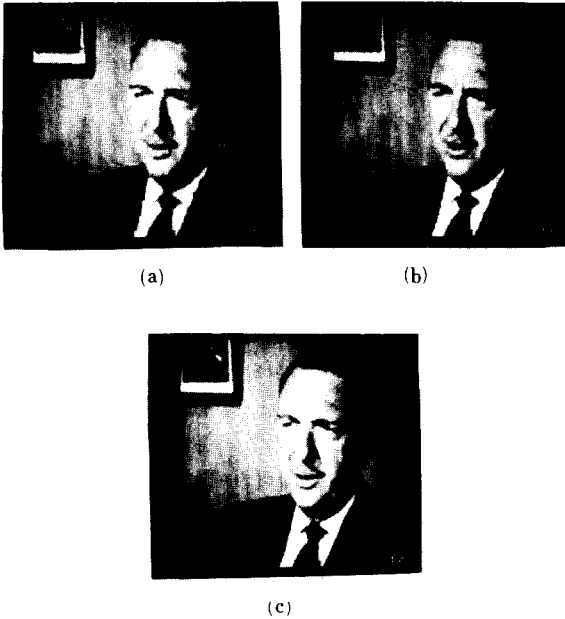


그림 9. 0.407 bpp에서 재생된 영상
 (a) DCT-TQ, SNR=29.16 dB
 (a) A-DCT-VQ, SNR=31.46 dB
 (c) DCT-CVQ, SNR=35.65 dB

Fig. 9. Reconstructed image (Cronkite) at 0.407bpp.
 (a) DCT-VQ, SNR=29.16 dB,
 (b) A-DCT-VQ, SNR=31.46 dB,
 (c) DCT-CVQ, SNR=35.65 dB.

재생된 영상을 비교해 보면, 3방식 모두 균일한 부분에서의 왜곡은 거의 없고, 가장자리 부분에서의 화질을 비교해 보면, DCT-VQ와 A-DCT-VQ 방식에서는 블록화 현상(block effect)과 함께 가장자리 손상(edge degradation)이 나타나는데 비하여, DCT-CVQ 방식에서는 가장자리 손상이 별로 없는 것을 알 수 있다. 눈의 시각적 효과에는 가장자리가 가장 많은 영향을 미치므로, DCT-CVQ는 다른 DCT-VQ 방식보다 주관적 성능이 뛰어난 것으로 나타났다.

그림10은 Girl과 Cronkite 영상을 0.219-0.547bpp 내의 6가지 비트율에서 각각 시물레이션을 하여, SNR을 비교한 결과를 나타낸다. 그 결과를 보면 DCT-CVQ 방식이 가장 높은 SNR을 나타냈고, A-DCT-VQ 방식보다 대체로 1.5-4.0 dB 정도의 성능향상을 보였다.

이상의 결과에서 보면 DCT 영역에서 VQ를 할 때, 본 논문에서 제안한 바와 같이 2개의 변환계수에 의하여 6개의 부류로 분류화를 하여 VQ를 하는 것이

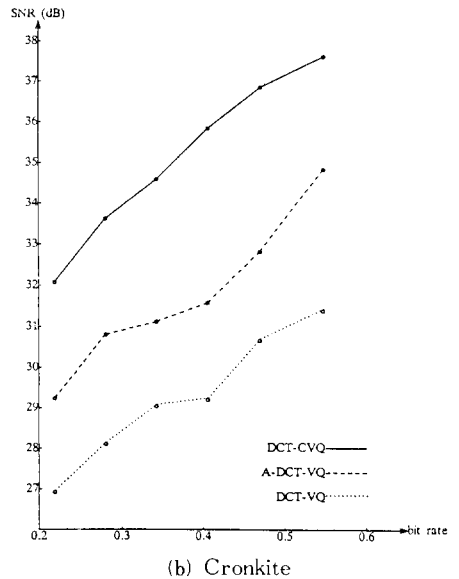
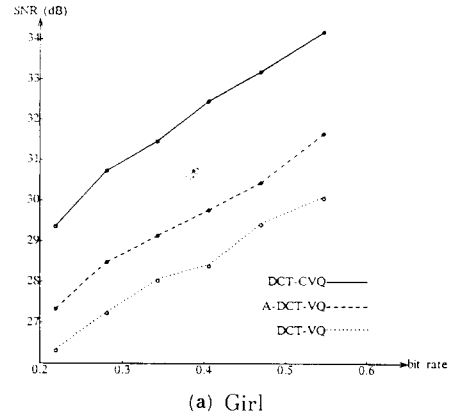


그림 10. SNR 비교
 Fig. 10. SNR comparison.

가장자리 특성을 나타내는데 효과적이라는 것을 알 수 있다.

여기에서 분류화를 할 때는 전체의 영상 블록에서 균일 부류 40%, 중간 부류 20% 정도이고, 나머지 가장자리에 해당하는 부류가 각각 10% 정도씩 되도록 분류하였다. 분류화를 하지 않은 DCT-VQ 방식과 왜곡(distortion)을 비교해 보면 균일한 부분에서의 왜곡은 비슷하지만 가장자리에서의 왜곡은 훨씬 줄어든 것으로 나타났다. 이것은 가장자리 부류에 해당하는 벡터의 부호책 크기를 크게 했기 때문인데, 가장자리에 해당되는 부류의 비율이 작기 때문에 전체 비트율은 크게 증가하지 않는다. 그리고 균일 부

류에 해당하는 벡터의 부호책 크기는 작게해도 균일 부류에 해당하는 영상 블록의 왜곡은 거의 증가하지 않는다.

이와같은 방식으로 비트율을 낮게 하면서, 전체의 왜곡치에 결정적으로 영향을 미치는 가장자리에서의 왜곡을 많이 줄였기 때문에, 본 논문에서 제안한 DCT-CVQ 방식은 0.5 bpp 미만에서도 좋은 성능을 나타내었다.

VI. 결 론

DCT 영역에서 2개의 변환계수에 의한 분류화는 그 방법이 매우 간단하고, 공간영역에서의 CVQ에 비하여 각 가장자리의 극성이 반대인 경우와 대각 가장자리에서의 45°와 135°인 경우를 구분할 필요가 없어서, III절에서 나타낸 6개의 부류만으로도 가장 자리 특성을 잘 나타낸다.

그리고 가장자리 부류에 해당하는 ac 에너지가 큰 부류에 대해서는 부호책 크기를 크게하고, 전체 영상에서 많은 비율을 차지하는 균일 부류에 대해서는 부호책 크기를 작게해 주는 적응기법을 사용함으로써 낮은 비트율 상태에서도 시각적 효과에 가장 큰 영향을 주는 가장자리 부류를 정확하게 재생할 수 있다.

시뮬레이션 결과를 보면 본 논문에서 제안한 DCT-CVQ 방식은 0.5 bpp 미만의 낮은 비트율에서도 다른 DCT-VQ 방식에 비하여 뛰어난 주관적 성능을 나타내었다. 또한 가장자리에서의 왜곡을 많이 줄였기 때문에, SNR은 0.219-0.547 bpp의 비트율에서 A-DCT-VQ 방식에 비하여 1.5-4.0 dB 정도의 성능 향상을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 DCT CVQ의 분류화 방식은 가장자리를 분류하는데 효과적이며, 또한 각 부류에 대해서 적응 기법을 적용함으로써, 0.5 bpp 미만의 낮은 비트율에서도 좋은 성능을 나타내는 부호화 방식이라 할 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-28, pp. 84-95, Jan. 1980.
- [2] R.M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 1, pp. 4-29, Apr. 1984.
- [3] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Classified vector quantization of images," *IEEE Trans. on comm.*, vol. COM-34, no. 11, pp. 1105-1115, Nov. 1986.
- [4] S.C. Kwatra, "Vector quantization in image coding," *Proceedings of International Workshop on Image Coding*, Seoul, Korea, pp. 95-128, Aug. 1987.
- [5] C. Labit and J.P. Marescq, "Vector quantization in transformed image coding," *ICASSP 86*, pp. 145-148.
- [6] T. Omachi, Y. Takashima and H. Okada, "DCT-VQ coding scheme using categorization with adaptive band partition," *PCS 87*, pp. 161-162.
- [7] S.U. Lee and D.S. Kim, "Image vector quantizer based on a classification in the DCT domain," *TENCON 87*, pp. 413-417.
- [7] W.H. Chen and C.H. Smith, "Adaptive coding of monochrome and color images," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-25, no. 11, pp. 1285-1292, Nov. 1977.
- [9] K. Aizawa, et al., "Adaptive discrete cosine transform coding with vector quantization for color images," *ICASSP 86*, pp. 985-988.
- [10] N. Ahamd T. Natarjan and K.R. Rao, "Discrete cosine transform," *IEEE Trans. on Comput.*, pp. 90-93, Jan. 1974.
- [11] D.A. Huffman, "A method for the construction of minimum redundancy codes," *Proc. IRE*, vol. 40, pp. 1098-1101, Sept. 1952.
- [12] Y.Y. Yamada, S. Tazaki and R.M. Gray, "Asymptotic performance of block quantizers with difference distortion measures," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. IT-26, no. 1, pp. 6-14, Jan. 1980.

 著 者 紹 介



任 昶 勳 (正會員)

1963年 10月 22日生. 1986年 2月
서울대학교 제어계측공학과 졸업.

1988年 2月 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 석사학위 취득.

1988年 3月~현재 한국방송공사
기술연구소 연구원. 주관심분야는

영상코딩 및 디지털 신호처리, HDTV 등임.

金 在 均 (正會員) 第25卷 第7號 參照

현재 한국과학기술원 전기및
전자공학과 교수