

고정 부호화율의 국부적응 영상 변환부호화

正會員 沈 英 錫* 正會員 高 在 弘* 正會員 李 相 學**

A Locally Adaptive Fixed Rate DCT Image Coding

Young Serk SHIM,* Jae Hong KO*, Sang Hak LEE** *Regular Members*

要 約 본 논문에서는 고정부호화율을 갖는 효과적인 적응 변환 부호화 방법을 제시, 연구한다. 본 방식에서는 각 블록마다 그 ac 에너지 크기에 비례하여 분산치 분포가 스케일을 달리하도록 정보원을 모델화 하고 그에 따라 비트배정을 하여 블록 양자화 한다. 본 방식은 적응 방식이면서 부호화율을 조정할 수 있는 장점이 있으며, 그 부호화율의 가변도 탄력적 이루어진다. 제시된 방식의 성능은 컴퓨터 모의 실험을 통해 잘 알려진 Chen & Smith 방식과 신호대잡음비 및 사진 비교를 통해 평가된다.

ABSTRACT An efficient fixed rate adaptive transform coding is described. Adaptivity is provided by assigning more bits to high ac energy blocks and less bits to low ac energy blocks. Practical and relatively simple adaptation scheme is developed. Overall complexity of our scheme is comparable to the Chen and Smith's scheme. The rate will be adjusted in the same manner as in fixed transform coding. Good performance of the proposed scheme is presented in terms of signal to noise ratio compared with the well known Chen & Smith's scheme. Subjective tests are also presented.

I. 서 론

영상 변환 부호화는 전체 영상을 블록으로 나눈 후, 각 블록 사이의 독립성을 가정하고 상호 상관

성을 지닌 각 블록 내 화소영역의 데이터 array {f}를 보통 코사인 변환을 취하여 상관성이 제거된 변환계수 array {F_{ij}}로 바꾼 후 이를 블록 양자화를 기본으로 한다. 변환 부호화의 블록 선도는 그림 1과 같다. 여기서 {F_{ij}}, {f_{ij}}는 각각 양자화된 변환 계수 array 및 재구성된 데이터 array를 나타낸다.

1972년 Wints⁽¹⁾ 변환계수들의 분산치가 블록마다 일정하다고 가정하고 주어진 영상에 대해 통계적으로 구한 변환계수의 분산치표를 이용하여

*慶北大學校 電子工學科
Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.

**金星半導體
Gold Star Semiconductor Ltd.
論文番號 : 89 - 03(接受 1988. 10. 6)

블록 양자화 하는 고정 변환 부호화 방법을 연구하였다. 그러나 각 블록들은 일반적으로 통계적인 특성이 국부적으로 변화한다고 모델화하는 것이 타당하며, 이러한 시변 모델에 대해서 고정 변환 부호화 방식은 전체 영상에 대해 구해진 분산치표와 블록의 에너지 분포가 다르면 양자화 오차가 크게된다. 이를 보완하기 위해 변환 계수의 에너지 분포를 각 블록의 통계적인 특성에 따라 적절하게 모델화하여 양자화기의 스케일 및 레벨 수를 변화시키는 적응 변환 부호화 방법이 연구되었다⁽²⁾⁻⁽⁵⁾.

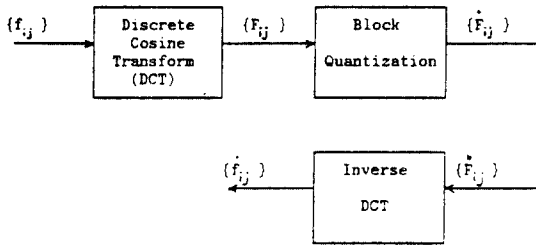


그림 1 이산 코사인 변환 부호화의 블록 선도
Block diagram of discrete cosine transform coding

대표적인 것으로 1977년 Chen과 Smith⁽²⁾에 의해 연구된 방법을 들 수 있다. 이는 각 블록을 ac 에너지 크기에 따라 네 개의 클래스로 나눈 후, 클래스별로 비트를 달리 배정하는 적응 변환부호화 방법으로서, 클래스를 나누는 과정에서 각 블록 ac 에너지의 크기에 따른 순서 배열이 필요하고, 각 클래스에 대한 분산치표를 구하고 이에 따라 각각 비트 배정을 해야하는 계산상의 복잡성은 지니고 있으나 그 데이터 감축 효과의 우수함을 인정받고 있는 방법이다. 한편 적응 변환 부호화 방식 중 1976년 Cox⁽⁴⁾에 의해 연구된 분산치 순환 추정을 이용하는 방법이나 1984년 Chen과 Pratt⁽⁵⁾의 임계표본화 방법은 데이터 감축 성능은 좋으나, 주어진 영상을 고정된 부호화율로 표현하는데에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 영상을 서로 통계적으로 독립으

로 가정된 16x16블록으로 분해하여, 각 블록을 우선 dc 성분과 ac 성분으로 가른 다음, dc 성분은 균등분포로 모델화하여 8비트로 균등 양자화하고 ac 성분은 블록마다 변환계수에 따른 에너지 분포의 모양은 같고, 블록 ac 에너지에 따라 그 스케일에만 차이가 있도록 모델화하였다. 이 모델에 근거한 적응 변환 부호화는 다음과 같다. 고정 변환 부호화에서와 마찬가지로 먼저 ac 변환 계수의 에너지 분포표(이후 분산치표라 칭함)를 전 영상에 대해 구한다. 이 분산치표는 각 블록의 ac 에너지 크기에 따라 스케일링된 후, 블록 변환 계수들의 양자화에 사용되며, 양자화에 필요한 비트 배정은 각 블록 단위로 스케일링된 분산치표에 의해 이루어지도록 한다. 또한 부호화율은 비트배정시의 임계치를 적절히 택함으로써 조절된다.

본 논문은 서론에 이어 II 장에서 제안된 방식의 기본에 대해 기술하고, III 장에서는 컴퓨터 모의 실험 결과를 토대로 Chen & Smith 방식 및 고정 변환 부호화 방식과 비교되며 IV 장의 결론으로 이어진다.

II. 블록 적응화 및 부호화율 조절

II-1. 블록 적응화

주어진 영상이 MxM개의 NxN 크기의 블록으로 분해되어 있고, 각 블록들이 서로 통계적으로 독립임과, 변환계수의 에너지 분포가 크기만 다르고 형태는 동일함을 가정하면, k, 1번째 블록의 변환 계수들의 분산치는 다음과 같이 쓸 수 있다. 단, 변환 계수들의 평균치는 영으로 가정된다.

$$\sigma_{k1}^2(i, j) = \frac{E_{k1}}{E_a} \sigma_a^2(i, j), \quad i, j = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

여기서

$$\sigma_a^2(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{k=1}^M F_{k1}^2(i, j), \quad (2)$$

$$E_{k1} = \sum_{i,j} F_{k1}^2(i, j), \quad (3)$$

$$E_a = \frac{1}{M^2} \sum_{k,1} E_{k1} \quad (4)$$

여기서 E_{k1} 은 $k, 1$ 번째 블록의 ac 에너지이고, E_a 는 각 블록들의 ac 에너지의 산술 평균이며, $\sigma_a^2(i, j)$ 는 전 영상에 대해 구한 i, j 번째 변환 계수의 샘플 분산치이다. 본 논문의 내용 상 위 식들 및 이후의 식 전개에 있어서 $(i, j) = (1, 1)$ 은 dc 계수로서 제외하여야 하나, 표현 상의 편리함을 위해 구별하지 않았다.

II-2. 비트 배정 및 부호화율 조절

단위 분산 입력에 대한 양자화기의 왜곡 함수는 아래와 같이 표현된다.

$$D = K 2^{-2\sigma B} \quad (5)$$

여기서 K 는 상수, B 는 비트수이다. σ 는 Gaussian pdf의 입력에 대한 균등 양자화기의 경우 $1/4 \log_2 10$ 으로⁽⁹⁾, 비균등 양자화기의 경우 $1/3$ 으로 하여 D 를 근사 표현할 수 있다. 또한 Laplacian pdf의 입력에 대한 경우에 있어서도 같은 σ 값에 의해 Gaussian pdf의 경우와 비슷한 정도로 근사 표현할 수 있다.

먼저 비적응 변환부호화에 있어서의 비트 배정을 살펴보면 다음과 같다. DCT계수 양자화시 이론적인 평균 왜곡량 D 는 다음과 같이 근사 표현할 수 있다.

$$D = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} D(i, j) \quad (6)$$

$$D(i, j) = \sigma_a^2(i, j) K 2^{-2\sigma b_a(i, j)} \quad (7)$$

여기서 $\sigma_a^2(i, j)$ 는 i, j 번째 변환계수의 분산치이며, $b_a(i, j)$ 는 i, j 번째 변환 계수에 배정되는 비트수이다. 변환 계수 하나당 배정되는 평균비트수

$$R = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} b_a(i, j) \quad (8)$$

를 제한 조건으로 평균 왜곡량 D 가 최소가 되도록 비트 배정식을 구하면 다음과 같다.

$$b_a(i, j) = \begin{cases} \text{INT} \left[\frac{1}{2\sigma} \log_2 (\sigma_a^2(i, j) / \theta) \right], & \sigma_a^2(i, j) > \theta \\ 0, & \sigma_a^2(i, j) \leq \theta \end{cases} \quad (9)$$

여기서

$$\theta = 2^{-2\sigma R} \left[\prod_{i,j} \sigma_a^2(i, j) \right]^{1/N^2} \quad (10)$$

또한 (9)식에서 $\theta = \sigma_a^2(i, j) 2^{-2\sigma b_a(i, j)}$ 이고 (7)식을 참고하면 $D = D(i, j) = K\theta$ 로서 변환계수에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

다음 본 논문의 정보원 모델에 의한 적응 변환 부호화에 있어서 $k, 1$ 번째 블록의 i, j 번째 변환 계수에 대한 비트 배정 과정은 다음과 같다. 우선 정보원 모델에 대한 평균 왜곡량 D^* 는 다음과 같이 근사 표현된다.

$$D^* = \frac{1}{M^2} \sum_{k,1} E(D_{k1}) \quad (11)$$

$$E(D_{k1}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} \sigma_{k1}^2(i, j) K 2^{-2\sigma b_{k1}(i, j)} \quad (12)$$

여기서 $E(D_{k1})$ 은 $k, 1$ 번째 블록의 변환 계수 양자화시 평균 왜곡량이며 $b_{k1}(i, j)$ 는 $k, 1$ 번째 블록에서 i, j 번째 변환 계수에 배정되는 비트수이다. 변환 계수 하나 당 배정되는 평균 비트수(=부호화율)

$$R^* = \frac{1}{M^2 N^2} \sum_{k,1} \sum_{i,j} b_{k1}(i, j) \quad (13)$$

를 제한조건으로 왜곡량 D^* 가 최소가 되도록 비트 배정식을 구하면 다음과 같다.

$$b_{k1}(i, j) = \begin{cases} \text{INT} \left[\frac{1}{2\delta} \{ \log_2 (\sigma_a^2(i, j) / \theta^*) \right. \\ \left. + \log_2 (E_{k1} / E_a) \} \right], \\ \sigma_{k1}^2(i, j) = (E_{k1} / E_a) \sigma_a^2(i, j) > \theta^* \\ 0, \sigma_{k1}^2(i, j) \leq \theta^* \end{cases} \quad (14)$$

여기서

$$\theta^* = \frac{2^{-2\sigma R^*}}{E_a} \left[\prod_{i,j} \sigma_a^2(i, j) \right]^{1/N^2} \left[\prod_{k,1} E_{k1} \right]^{1/M^2} \quad (15)$$

$$= (E_g / E_a) 2^{-2\sigma R^*} \left[\prod_{i,j} \sigma_a^2(i, j) \right]^{1/N^2} \quad (16)$$

(16)식의 E_g 는 각 블록들의 ac 에너지의 기하평균이며 (10)식과 (16)식을 비교하면 같은 부호화율에서 ($R^*=R$), $\theta^*=\theta(E_g/E_a)$ 임을 알 수 있다. 어떤 정규화인자 Ω 를 이용하여 $\alpha(i, j)$ 를 다음과 같이 정의하면,

$$\alpha(i, j) = 1/2 \log_2 (\sigma_a^2(i, j) / \Omega) \quad (17)$$

$b_{k1}(i, j)$ 는 다음과 같다.

$$b_{k1}(i, j) = \text{INT} \left[\frac{1}{\delta} \{ \alpha(i, j) + 1/2 \log_2 (E_{k1} / E_a) + \beta \} \right] \quad (18)$$

(17)식에서 Ω 는 비트 배정 인자인 $\alpha(i, j)$ 의 양자화시 그 범위를 제한하기 위해 사용되었으며 β 는 $1/2 \log_2 (\Omega / \theta^*)$ 으로 주어지며, 부호화율에 따라 조정되는 값이다. (18)식을 잘 살펴보면 적응 블록 양자화에 필요한 양자화 비트 수는 전 영상에 대해 구한 $\alpha(i, j)$ 에 블록 ac 에너지의 로그값에 비례하는 양 만큼 더한 후 적당한 임계치 β 를 사용하여 음 아닌 정수부를 취함으로써 간단히 얻게 됨을 알 수 있다.

또한 영상 재생시 필요한 블록 양자화기의 규격

을 정하기 위한 각 블록의 분산치표 $\sigma_{k1}^2(i, j)$ 와 비트 배정표 $b_{k1}(i, j)$ 는 $\sigma_a^2(i, j)$, E_{k1} , β 로부터 추정될 수 있으며, 이에 필요한 $\sigma_a^2(i, j)$, E_{k1} , β 는 다음과 같이 전송된다.

$\sigma_a^2(i, j)$ 는 그 로그 값인 $\alpha(i, j)$ 를, E_{k1} 은 각 블록의 적응화 인자로서 다음과 같이 정의되는 Δb_{k1} 을 양자화 하여 보낸다.

$$\Delta b_{k1} = 1/2 \log_2 (E_{k1} / E_a) \quad (19)$$

$\alpha(i, j)$ 는 양자화시 최대값이 6이 되도록 $\Omega = \sigma_{\max}^2(i, j) / 4096$ 으로 놓으면 다음과 같고,

$$\alpha(i, j) = 6 + 1/2 \log_2 (\sigma_a^2(i, j) / \sigma_{\max}^2(i, j)) \quad (20)$$

최종적인 비트 배정식과 분산치 추정식은 다음과 같다.

$$b_{k1}(i, j) = \text{INT} \left[\frac{1}{\delta} (\dot{\alpha}(i, j) + \Delta \dot{b}_{k1} + \dot{\beta}) \right] \quad (21)$$

$$\sigma_{k1}^2(i, j) = A 2^{(\dot{\alpha}(i, j) - 1 + \Delta \dot{b}_{k1})} \quad (22)$$

여기서 $A = \sigma_{\max}^2(i, j) / 32^2$ 이고, $\dot{\alpha}(i, j)$, $\Delta \dot{b}_{k1}$, $\dot{\beta}$ 는 각각 그 양자화된 값을 나타낸다.

II-3. 이론적인 이득

본 논문에서 사용한 정보원 모델에 따른 이론적 이득은 다음과 같다. k , 1번째 블록의 평균 왜곡량 $E(D_{k1})$ 은 (1)식과 (14)식을 (12)식에 대입하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$D^* = E(D_{k1}) = \frac{E_g}{E_a} D \quad (23)$$

여기서 D 는 (6)식에 정의된 고정 모델에 대한 블록 양자화기의 평균 왜곡량이다. (23)식에서

본 적응 모델에 의한 부호화는 각 블록당 왜곡량을 일정하게 함을 알 수 있다.

성능의 척도로 SNR을 이용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{SNR (dB)} &= 10 \log_{10} (E/D^*) \\ &= 10 \log_{10} (E/D) + 10 \log_{10} \left(\frac{E_a}{E_g} \right) \end{aligned} \quad (24)$$

여기서 E는 화소 당 평균 ac 에너지이며, 고정 변환부호화 방법에 대한 본 방식의 이론적인 이득은 다음과 같다.

$$\text{Gain (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{E_a}{E_g} \right) \quad (25)$$

정보원 모델이 실제 영상의 통계적 특성과 일치할 경우, 두가지 시험 영상 GIRL 및 CRONKITE에 대해서 이론적 이득을 계산한 결과 각각 4.71, 9.16dB가 되었다.

III. 모의 실험 결과 및 검토

영상 재생을 위해서 요구되는 추가부담정보의 양자화에 필요한 비트의 구성은 다음과 같다.

$$B = B_a + B_\alpha + B_\beta + B_\beta \quad (26)$$

여기서 B_a 는 분산치 추정계수 A, B_α 는 $\alpha(i, j)$, B_β 는 Δb_{ki} , 그리고 B_β 는 β 를 부호화 하기 위해 필요한 추가부담 비트 수이다. 식(21)의 비트 배정과 식 (22)의 분산치 추정을 하기 위해서 필요한 $\alpha(i, j)$ 와 b_{ki} 은 다음과 같이 양자화 및 부호화하여 전송한다. $\alpha(i, j)$ 는 (6, -2) 사이를 1/8간격으로 6비트를 배정하여 균등 양자화한다. Δb_{ki} 은 두 시험 영상(GIRL, CRONKITE)에 대해 조사한 결과 -4에서 1.5사이에 90%가량 분포함을 보았으며, 이를 근거로 (-4, 2) 사이를 3/16간격으로 5비트로 균등 양자화 한다. 추가 부담 비트중에서 B_a 와 B_β 는 매우 작으므로 무시하면, 블록 당 추가

부담 비트수는 약 11비트가 된다.

제안된 방법의 성능 평가를 위해서 256레벨을 갖는 256×256 크기의 두가지 시험 영상 GIRL 및 CRONKITE에 대해서 0.25, 0.5 및 1 bits / pel의 부호화율에 대해 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 사용된 시험 영상은 그림2와 같다. 이때 dc 변환계수 $F(1, 1)$ 은 8비트로 균등 양자화하였으며 ac 변환계수 $\{F(u, v), u, v=1, 2, \dots, N(u, v) \neq (1, 1)\}$ 들에 대해서는 Laplacian 분포에 대한 균등 양자화기 또는 비균등 양자화기를 사용하여 II장에서 기술한 방법에 의해 블록 양자화하였다.



(a) Girl



(b) Cronkite

그림 2 컴퓨터 모의 실험에 사용된 두가지 시험 영상
Two test images used in computer simulation.

부호와 성능의 객관적인 평가의 척도로 ac 성분
의 SNR 및 PSNR(peak signal-to-noise ratio)을
사용하였으며, 처리된 영상을 디스플레이 장치에
출력시켜 사진의 의한 화질검사로 주관적인 평가
도 병행하였다.

PSNR

$$= 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{256^2} \sum_{u=1}^{256} \sum_{v=1}^{256} |F(u, v) - \dot{F}(u, v)|^2} \quad (27)$$

$$AC-SNR = 10 \log_{10} \frac{1}{ACNMSE} \quad (28)$$

$$ACNMSE = \frac{\sum_{\substack{u=1 \\ (u,v) \neq (1,1)}}^{256} \sum_{\substack{v=1 \\ (u,v) \neq (1,1)}}^{256} |F(u, v) - \dot{F}(u, v)|^2}{\sum_{u=1}^{256} \sum_{v=1}^{256} |F(u, v)|^2} \quad (29)$$

여기서 ACNMSE는 dc 변환계수 F(1, 1)을 제외
한 ac 변환계수들의 정규 평균 자승 오차이다.

표1과 표2에 각각 균등 및 비균등 양자화기를
사용하여 얻은 SNR을 비교하여 나타내었다. 모의
실험시 부호화율은 모든 추가부담 비트를 포함시
킨 값이다. 제안된 방법은 고정 변환 부호화 방법
표1 균등 양자화기를 이용한 각 부호화 방식에 의한 모의 실험
결과

Computer simulation results in terms of SNR(in dB) for
each coding method using uniform quantizer

test image	bits /pel	SNR	Non-adaptive	Chen & Smith	Proposed
Girl	0.50	ac peak	9.47 29.90	12.17 32.59	12.48 32.89
	1.00	ac peak	12.52 32.94	15.48 35.88	15.44 35.89
Cronkite	0.50	ac peak	12.62 31.43	18.47 37.26	18.16 36.95
	1.00	ac peak	17.72 36.51	23.73 42.45	22.80 41.54

표 2 비균등 양자화기를 이용한 각 부호화 방식에 의한 모의
실험 결과

Computer simulation results in terms of SNR(in dB) for
each coding method using nonuniform quantizer.

test image	bits /pel	SNR	Non-adaptive	Chen & Smith	Proposed
Girl	0.50	ac peak	9.72 30.14	12.22 32.64	12.52 32.94
	1.00	ac peak	12.61 33.02	15.51 35.92	15.49 35.90
Cronkite	0.50	ac peak	13.55 32.36	18.78 37.56	18.53 37.31
	1.00	ac peak	18.41 37.20	24.21 42.91	23.71 42.42



(a)



(b)



(c)

그림 3 각 부호화 방식에 의한 재생 GIRL 영상들
(0.5 bits / pel, 균등 양자화기)
Reconstructed GIRL images for each coding scheme
(0.5 bits / pel, uniform quantizer)

- a) 고정 변환 부호화(PSNR=29.90 [dB])
Fixed transform coding(PSNR=29.90 [dB])
- b) Chen & Smith의 적응 변환 부호화(PSNR=32.59 [dB])
Chen & Smith's adaptive transform coding(PSNR=32.59 [dB])
- c) 제안된 방식(PSNR=32.89 [dB])
Proposed scheme(PSNR=32.89 [dB])

보다 GIRL에 대해서는 평균 3dB, CRONKITE에 대해서는 평균 5dB 정도의 ac SNR 이득이 있었고, Chen & Smith 방법과 비교할때 PSNR 면에서 거의 비슷한 성능을 가지고 나타나고 있다. 그림3에는 GIRL에 대한 재생 영상들을 비교해 나타내었다. 제안된 방식은 화질면에서 Chen & Smith 방식에 비해 배경 부분은 약간 떨어지나 에지부근의 표현에 있어서는 나은 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서 제안된 지역 ac 에너지 적응 변환 부호화 방식은 고정된 부호화율을 가지는 장점이 있으며, 대략 블록 ac 에너지의 산술 평균과 기하 평균의 비에 해당하는 이론적 이득을 가진다. 컴퓨터 모의 실험 결과 고정 변환 부호화에 비해 0.

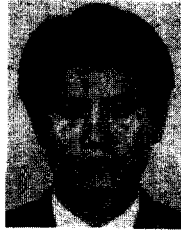
50 bits / pel 및 1.00 bits / pel의 부호화율에 대해 두가지 시험 영상 GIRL 및 CRONKITE에 대해 각각 약 3dB 및 5dB의 SNR 이득을 나타내었으며, 잘 알려진 Chen & Smith 방식과 비등한 성능을 보인다. 사진 비교를 통한 주관적인 검사에서도 Chen & Smith 방식과 같은 정도의 화질을 보이는 것으로 나타났다. 본 방식은 분산치 분포의 형태에 따른 분류과정을 도입하면 성능의 향상이 기대되며, 단일 pass 방식의 적응 부호화도 가능하리라 생각된다.

參 考 文 獻

1. P. A. Wints, "Transform picture coding", IEEE Proc., 60, pp. 809-820, July 1972.
2. W. H. Chen and C. H. Smith, "Adaptive coding of monochrome and color images", IEEE Trans. on Commun., COM-25, pp. 1285-1292, Nov. 1977.
3. A. Habibi and P. A. Wintz, "Image Coding by Linear Transformation and Block Quantization", IEEE Trans. on Commun. Tech., vol. COM-19, pp. 50-63, Feb. 1971.
4. R. Cox and A. Tescher, "Channel rate equalization techniques for adaptive transform coders", SPIE Proc. 87, pp. 239-246, Aug. 1976.
5. R. A. Gonsalves, A. Shea, and N. Evans, "Fixed error encoding for bandwidth compression", SIPE Proc. 149, pp. 27-42, 1978.
6. W. H. Chen and W. K. Pratt, "Scene adaptive coder", IEEE Trans. on Commun., COM-31, pp. 225-232, Mar. 1984.
7. J. J. Y. Huang and P. M. Schulthesis, "Block quantization of correlated gaussian random variables", IEEE Trans. on Commun. Syst., pp. 280-296, Sept. 1963.
8. 심영석, "영상 변환 감축 부호화에서의 블록 양자화에 관한 연구", 한국과학재단 연구보고서, 1984년 10월.



沈英錫(Young Serk SHIM) 正會員
1953年12月14日生
1976年2月: 서울大學校 電子工學科 卒業(工學士)
1978年8月: 韓國科學技術院電氣및電子工學科 卒業(工學碩士)
1982年8月: 韓國科學技術院電氣및電子工學科 卒業(工學博士)
1983年3月~現在: 慶北大學校 電子工學科(副教授)



李相學(Sang Hak LEE) 正會員
1984年2月: 慶北大學校 電子工學科 卒業(工學士)
1986年2月: 慶北大學校 電子工學科 卒業(工學碩士)
1989年3月~現在: 金星半導體



高在弘(Jae Hong KO) 正會員
1963年8月27日生
1985年2月: 慶北大學校電子工學科卒業(工學士)
1989年2月: 慶北大學校電子工學科卒業(工學碩士)