

論文94-31B-3-8

비순차적 비트 정렬에 의한 점진적인 DCT 영상 부호화

(A Progressive DCT Image Coding by Non-sequential Bit Ordering)

金鍾勳*, 蔡鍾吉**, 沈英錫***

(Jong Hoon Kim, Jong Kil Chae and Young Serk Shim)

要約

본 논문에서는 단계 영상별 화질 개선을 위하여 변환계수를 배정된 비트에 따라 양자화한 후 계수단위로 전송하는 기존의 방법과는 달리, 한 비트 전송시 오차 제공 평균이 가장 많이 줄어드는 비트부터 한 비트씩 재정렬하여 전송하는 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법을 제안하였다. 이때 한 비트씩 전송될 때 마다 재생 레벨을 찾을 수 있는 embedded 양자화기로 Lloyd-Max 양자화기를 이용한 2 가지 방식의 emdedded 양자화기를 설계하여 사용하였다.

제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법의 성능 평가를 위하여 영역화 표본화 방식의 일종인 DCT 영상 부호화에 적용하여 기존의 배정된 비트에 따라 지그재그 주사에 의해 계수 단위로 점진적으로 전송하는 방법과 비교해 보았다. 그 결과 최종 재생영상의 성능은 일치하지만 적은 양의 정보를 전송하고 도 영상의 개략적인 형태를 더 빨리 인식할 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

DCT image coding has been well known for its compression efficiency. Its nature makes it also suitable for efficient progressive transmission and reconstruction since low frequency transform coefficients contain most of the energy of image signals. In this paper, we propose a progressive transmission technique of DCT image by non-sequential bit ordering using Lloyd-Max quantizer. And then, we will show that the Lloyd-Max quantizer can be embedded quantization.

In simulation results, the proposed method show better subjective picture and MSE of the reconstructed image than the conventional zig-zag scanning transmission of transform coefficients.

* 正會員, 東洋工科大学 通信工學科
(Dept. of Comm. Eng., Dongyang College
of Technology)

** 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

*** 正會員, 生産技術研究院 電子情報시스템센터
(KAITECH Elec. Information Technology Center)

接受日字: 1993年 2月 19日

1. 서론

일반적으로 영상 정보는 음성 정보나 문자 정보 등에 비하여 정보량이 많기 때문에 기존의 협대역 전송로를 통하여 전송할 경우 전송 시간이 길게 된다. 따라서 화상 회의, 의료진단 영상, 또는 전자 우편에 의한 휴 쇼핑등에서와 같이 수신자에 따라 요구하는 화질이 다양한 경우에는 단계 영상별 화질 개선을 통하여 단계적으로 영상의 질을 높여가는 방법을 강구해야 한다. 즉 처음에는 적은 양의 정보로 영상의 개략적인 형태를 표현하고 필요에 따라 영상 정보 전송량을 증가시켜 점진적으로 화질을 향상시켜야 한다. 이러한 점진적 영상 전송 방법은 효과적인 영상 전송과 저장을 동시에 고려할 수 있을 뿐만 아니라 영상 재구성시 영상 정보가 모두 전송될 때까지 기다리지 않고 부분적인 영상 정보만으로도 적당한 품질의 영상을 재구성할 수 있다. 그러므로 사용자가 더 자세한 영상 정보를 필요로 하지 않을 경우 영상 정보의 전송을 중단시킬 수 있으며, 따라서 전송 비용에 비례하는 영상 품질을 선택할 수 있는 장점도 갖는다. 이러한 점진적 영상 부호화는 적용하는 영역에 따라 변환 영역과 공간 영역으로 나눌 수 있다. 많은 변환 부호화 가운데 DCT(discrete cosine transform)는 최적변환인 KLT(Karhunen Loeve transform) 성능에 매우 근접한 특성을 가지고 있으며, 고속 알고리즘의 개발^{1,2}과 구현의 용이성 때문에 많이 사용되고 있다.

DCT 영상 부호화에서는 변환에 의하여 공간에 흩어져 있던 에너지를 변환 영역에서 한쪽으로 집중되는 특성을 이용하여, 에너지 집중도가 높은 변환 계수부터 전송하여 영상의 개략적인 형태를 재생하고 점진적으로 집중도가 낮은 변환계수를 차례로 전송하여 더 세밀한 영상을 점진적으로 전송할 수 있다. 특히 이웃하는 변환 계수의 에너지의 집중도를 고려하여 계수단위로 지그재그 주사 방식으로 점진적 전송을 함으로서 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.³ 그러나 이와 같은 계수단위 전송방식은 변환계수 사이의 에너지 집중도는 고려하지만 각 비트에 따라 전달되는 에너지가 다른 것은 고려하지 않고 있다.

이에 본 논문에서는 단계 영상별 화질 개선을 위하여 변환계수를 배정된 비트에 따라 양자화한 후 계수단위로 전송하는 기존의 방법과는 달리, 한 비트 전송시 오차 제곱 평균(mean square error)이 가장 많이 줄어드는 비트부터 한 비트씩 재정렬하여 전송하는 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법을 제안하였다. 그리고 비순차적 비트 정렬에 의한 점진

적 전송에서 한 비트씩 전송될 때 마다 재생 레벨을 찾을 수 있는 embedded 양자화기가 필수적이다.⁴ 이를 위해 Lloyd-Max 양자화^{5,6}를 이용한 2가지 방식의 embedded 양자화기를 설계하여 사용하였다. 제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방법을 영역 표본화(zonal sampling)방식의 일종인 DCT(discrete cosine transform) 영상 부호화^{7,8}에 적용하여 기존의 배정된 비트에 따라 지그재그 주사에 의해 계수 단위로 점진적으로 전송하는 방식³과 비교해 보았다. 그 결과 최종 재생영상의 성능은 일치하지만 적은 양의 정보를 전송하고도 영상의 개략적인 형태를 더 빠리 인식할 수 있음을 알 수 있었다.

II. Lloyd-Max 양자화를 이용한 embedded 양자화기

한 비트 전송이 재생 레벨에 미치는 정도는 동일 위치의 비트라도 변환 계수마다 다르게 나타난다. 이는 양자화기의 종류, 배정된 비트수, 그리고 배정된 비트중의 전송 순서등에 따라 달리 나타난다. 그리고 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송에서는 한 비트씩 전송될 때마다 재생 레벨을 찾을 수 있는 embedded 양자화기가 필수적이다. 이에 본 논문에서는 Lloyd-Max 양자화를 이용한 2 가지 방식의 embedded 양자화기를 설계하여 사용한다.

1. Lloyd-Max 양자화기를 embedded 양자화기로 이용하는 방법

1986년 Tzou⁹는 배정된 비트에 따라 양자화한 계수를 비트 단위로 한 비트씩 나누어 전송하고 한 비트씩 추가 비트가 전송될 때마다 점진적으로 개선된 재생 화질을 얻을 수 있는 embedded 양자화에 대하여 연구하였다. 그러나 기존의 Lloyd-Max 양자화는 비트 수가 증가하면 배열되는 결정 레벨의 크기가 증가되므로 embedded 양자화로 적합하지 못하다고 하였다.

그림 1에서 $di(n)$ 는 n 비트 양자화기의 i 번째 결정 레벨을 나타낸다. 그림 1에 나타난 바와 같이 "x"로 표시된 입력 신호를 1, 2, 3, 및 4비트의 비균등 양자화기로 양자화하였을 때의 출력 신호는 각각 "1", "11", "101", 및 "1011"이 된다. 여기서 "11"은 "101"과 "1011"에 포함되지 않기 때문에 embedded 양자화기로 부적합하다. Tzou⁹는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 4 비트 양자화기의 결정 레벨을 기준으로, 1에서 4 비트까지의 결정 레벨

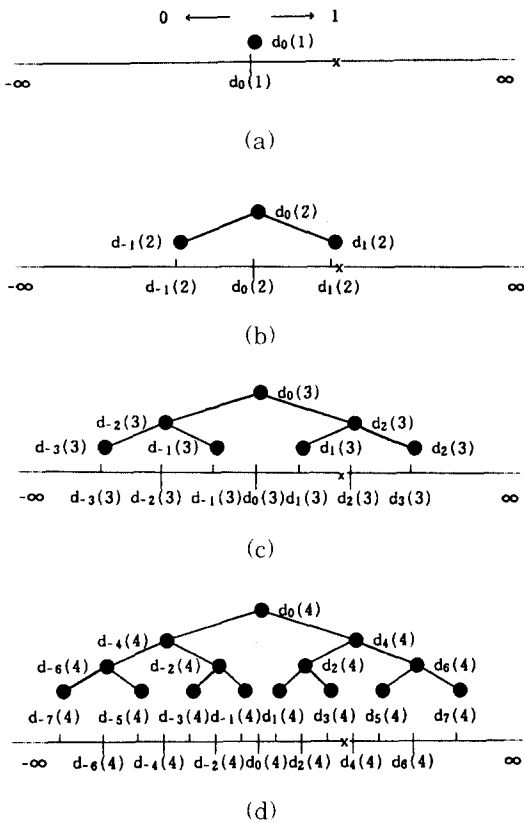


그림 1. 라플라스 신호원에 대한 1, 2, 3, 및 4 비트 Max 양자화기에 대한 결정 레벨의 이진목
 (a) 1 비트 양자화기 (b) 2 비트 양자화기
 (c) 3 비트 양자화기 (d) 4 비트 양자화기

Fig. 1. Binary trees of the decision levels of 1 to 4 bit Lloyd-Max quantizers for Laplacian source.
 (a) 1 bit quantizer, (b) 2 bit quantizer,
 (c) 3 bit quantizer, (d) 4 bit quantizer.

을 그림 2에서와 같이 하나의 이진목이 되도록 형성시킨 embedded 양자화기를 설계하였으나 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째는 기준 양자화기에 따라 embedded 양자화기의 오차 제곱 평균이 달리 나타나므로 기준되는 양자화기를 선택해야 하고, 둘째는 기준 보다 비트수가 더 많은 양자화기에 대하여 더 세밀한 최적 결정 레벨과 재생 레벨을 찾아야 하고 기준보다 비트수가 더 적은 경우에도 최적 재생 레벨을 찾아야 한다. 그러나 이러한 문제들은 그림 2에 나타난 바와 같이 전체가 하나의 이진목으로 형성되

어야만 embedded 양자화기가 되기 때문에 나타나는 현상이다. 즉 그림 1에서와 같이 배정된 비트수에는 관계없이 첫번째 비트를 전송할 때는 1 비트 양자화기를 사용하고, 두번째 비트를 전송할 때는 2 비트 양자화기를 사용하는 것과 같은 방법으로 몇번째 전송되는 비트인가에 따라 다른 양자화기를 사용하면 Lloyd-Max 양자화기와 같은 양자화기는 출력 레벨의 수가 많을 수록 배열되는 결정 레벨의 크기가 달라지기 때문에 embedded 양자화기로 부적합하다.

그러나 전송되는 비트의 순서에 관계하지 말고 배정된 비트수에 해당하는 양자화기만을 사용하면 이와 같은 문제는 간단히 해소된다. 즉 그림 1에서 4 비트 배정된 입력 신호 "x"를 4 비트 양자화기로 양자화하면 출력은 "1011"이 될 것이다. 이 출력 신호를 최상위 비트(most significant bit)부터 한 비트씩 차례로 전송하면 전체가 하나의 이진목으로 형성되어지 않아도 embedded 양자화기로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 다만 최상위 비트부터 한 비트씩 일부 비트만 전송되었을 때 재생 레벨을 결정하는 문제가 남게 된다. 본 논문에서는 일부 비트만 전송되었을 때 재생 레벨을 결정하는 방법에 따라 2 가지 방식의 embedded 양자화기를 설계하여 사용한다.

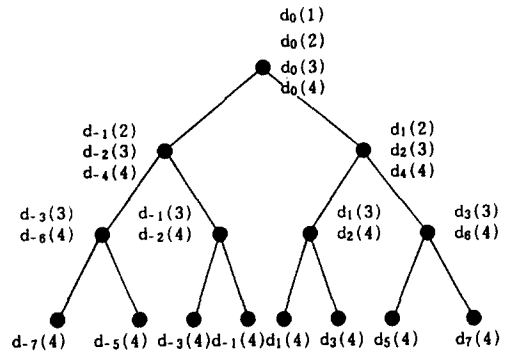


그림 2. 결정 레벨들이 정렬된 이진목
 Fig. 2. Binary tree for the decision level alignment.

2. Lloyd-Max 양자화를 이용한 2가지 방식의 embedded 양자화기

1) 전송된 비트만으로 최적 재생레벨을 설계하는 방법 (방법 I)

전체가 하나의 이진목으로 형성되지 않아도 앞에서 설명한 것과 같은 간단한 방법으로 Lloyd-Max 양자화를 embedded 양자화기로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 이에 본 논문에서는 Lloyd-Max 양자화를 이

용한 embedded 양자화기로 전송된 비트만으로 오차 제곱 평균이 최소가 되도록 재생 레벨을 설계하는 방법을 먼저 제안한다.

배정된 비트에 따라 양자화된 계수를 한 비트씩 전송할 때의 결정 레벨은 전송되는 비트의 순서에 따라 달라진다. 예를 들어 그림 3에 나타난 바와 같이 3 비트가 배정된 경우, 첫번째 비트인 최상위 비트를 전송할 때의 결정 레벨은 구간 $[0, \infty)$ 가 되고, 두번째 비트를 전송했을 때의 결정 레벨은 $[d_0, d_2]$ 또는 $[d_2, \infty)$ 가 된다. 그리고 세번째 비트를 전송할 때의 결정 레벨은 $[d_0, d_1]$, $[d_1, d_2]$, $[d_2, d_3]$, 또는 $[d_3, \infty)$ 가 된다. 이 때 최적 재생 레벨은 Lloyd-Max가 제안한 알고리즘^[7]과 동일한 알고리즘으로 다음과 같은 식을 이용하여 구하게 된다.

$$d_i = (r_i + r_{i+1})/2, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (1.a)$$

$$\int_{d_i}^{d_{i+1}} (x - r_i)p(x)dx = 0, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (1.b)$$

여기서 $p(x)$ 는 확률 밀도 함수, d_i 는 i 번째 결정 레벨이고, r_i 는 i 번째 재생 레벨이다. 그리고 그림 3에서 r_{ijk} 는 비균등 양자화기의 ijk (2 진수) 번째 재생 레벨을 나타내며, $r(n, i, s)$ 는 n 비트 embedded 양자화기의 i 번째 비트 전송시의 s 번째 재생 레벨을 나타낸다. 예를 들면, 그림 3과 같은 3 비트 양자화기의 경우 3 비트 중 첫번째 비트를 전송할 때의 최적 재생 레벨 $r(3, 1, 1)$ 은 구간 $[0, \infty)$ 에 대한 최적 재생 레벨이고, 3 비트 중 두번째 비트까지 전송되었을 때의 최적 재생 레벨은 구간 $[0, d_2]$ 에 대하여

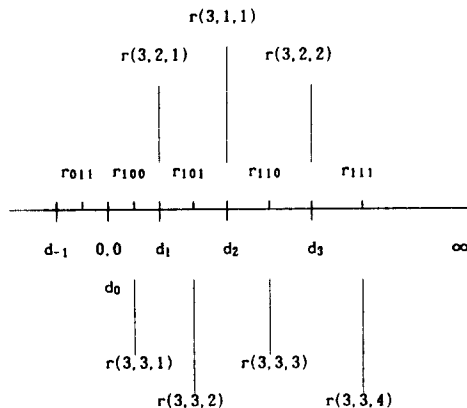


그림 3. 3 비트 양자화기에서의 3 비트 embedded 양자화기의 재생 레벨

Fig. 3. Reconstruction levels of 3 bit embedded quantizer on 3 bit quantizer.

구한 $r(3, 2, 1)$ 과 구간 $[d_2, \infty)$ 에 대하여 구한 $r(3, 2, 2)$ 이 된다. 그리고 3 비트 중 마지막 세번째 비트를 전송할 때의 최적 재생 레벨은 구간 $[d_0, d_1]$ 에 대한 $r(3, 3, 1)$, 구간 $[d_1, d_2]$ 에 대한 $r(3, 3, 2)$, 구간 $[d_2, d_3]$ 에 대한 $r(3, 3, 3)$, 그리고 구간 $[d_3, \infty)$ 에 대한 $r(3, 3, 4)$ 이 된다. 여기서, 마지막 비트를 전송할 때의 최적 재생 레벨은 Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨과 일치한다. 이때 각 재생 레벨들은 주어진 확률 밀도 함수에 대한 조건 평균일 때 최적이 된다. 표 1은 확률 밀도 함수가 라플라스 분포일 때 3 비트 embedded 양자화기의 최적 재생 레벨을 나타낸 것이다. 다른 비트에 대해서도 마찬가지로 방법으 각 비트 전송시의 재생 레벨을 구할 수 있다. 단, 표 1에서 s_1 는 1 또는 2이고, s_2 는 1, 2, 3, 또는 4를 나타낸다.

표 1. 라플라스 확률 밀도 함수에 대한 3 비트 embedded 양자화기의 재생 레벨

Table 1. Reconstruction levels of 3 bit embedded quantizer for Laplacian probability density function.

$r(3, 1, 1)$	$r(3, 2, s_1)$	$r(3, 3, s_2)$
0.7071	0.4505	0.2334
	1.9599	0.8330
		1.6725
		3.0867

이와 같은 방법의 embedded 양자화기는 최종 재생 레벨이 Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨과 동일하고, 일부 비트만을 전송했을 때의 재생 레벨은 주어진 확률 밀도 함수에 대해서 오차 제곱 평균이 최소가 되도록 설계되었다. 그러나 이 방법은 일부 비트만을 전송하는 경우에 최적 재생 레벨을 설계 해야 되는 번거로움이 있다.

2) Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨을 그대로 이용하는 방법 (방법 II)

일부 비트만을 전송할 때의 재생 레벨을 결정하는 또 다른 방법으로 Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨을 그대로 이용하는 방법으로서 일부 비트만을 전송했을 때의 성능은 약간 떨어지지만 간단한 방법이다. 예를 들어, 그림 4에 표시된 변환 계수 "x"를 3 비트 양자화기로 양자화하면 "110"이 된다. 여기서 한 비트씩 전송할 때, Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨을 그대로 이용하는 방법은 다음과 같다. 그림 4에서

와 같이 첫번째 비트인 최상위 비트 "1"을 전송할 때의 재생 레벨은 그림 4(a) 1 비트 양자화기의 재생 레벨에서 $r(1,1)$ 이 되고, 두번째 비트 "1"을 전송할 때의 재생 레벨은 그림 4(b) 2 비트 양자화기의 재생 레벨에서 $r(2,2)$ 이 되며, 마지막으로 세번째 비트인 "0"을 전송할 때의 재생 레벨은 그림 4(c) 3비트 양자화기의 재생 레벨에서 $r(3,3)$ 이 된다. 이와 같이 전송되는 비트의 순서에 해당되는 양자화기의 재생 레벨을 이용함으로써 Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨을 그대로 이용할 수 있다. 이 방법은 일부 비트까지 전송했을 때의 재생 레벨은 최적이지 않지만, 최종 재생 레벨은 Lloyd-Max 양자화기의 재생 레벨과 일치하고, 또 Lloyd-Max 양자화기를 그대로 embedded 양자화기로 사용할 수 있는 장점이 있다.

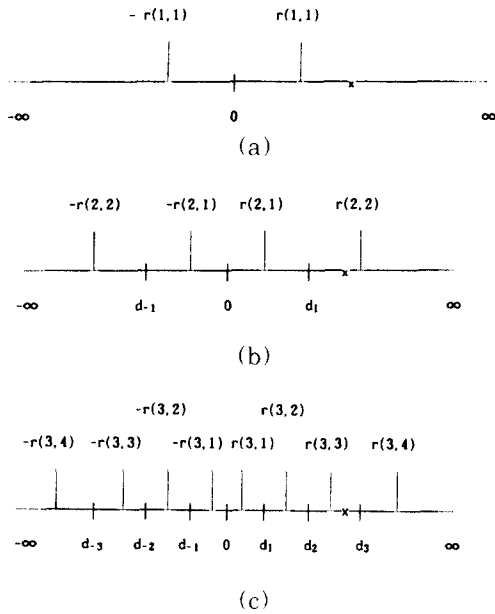


그림 4. (a) 1 비트, (b) 2 비트, 및 (c) 3 비트 양자화기
 Fig. 4. (a) 1 bit, (b) 2 bit, and (c) 3 bit quantizers.

III. 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송

한 비트 전송이 재생 레벨에 미치는 정도는 동일 위치의 비트라도 양자화기의 종류, 배정된 비트 수, 그리고 배정된 비트 중의 전송 순서등에 따라 변환 계수 마다 다르게 나타난다. 이에 본 장에서는 배정된 비트수에서 한 비트씩 추가 비트가 전송됨에 따른

재생 레벨의 변화로 인한 비트당 평균 전달 전력 계수에 대해 정의하고, 제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방법을 DCT 영상 부호화에 적용할 경우의 전송 순서와 영상 재생 방법에 대해 기술한다.

1. 비트당 평균 전달 전력 계수

본 논문에서는 배정된 비트수에서 한 비트씩 추가 비트가 전송됨에 따라 이미 전송된 비트들에 의한 재생 레벨과 한 비트 더 전송함에 따른 재생 레벨의 차의 제곱 평균을 비트당 평균 전달 전력이라 정의한다.

먼저 제안된 embedded 양자화기 중 방법 1을 이용할 때 n 비트중에서 k 번째 한 비트를 더 전송함에 따른 비트당 평균 전달 전력 계수를 $B_i(n,k)$ 로 표시하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$B_i(n,k) = \begin{cases} 2 \times r^2(n,1) \times p_{n,1,1} & k=1 \\ 2 \times \sum_{s=1}^{2^{k-1}} \{ p_{n,k,2s-1} \times R_i^2 + p_{n,k,2s} \times R_i^2 \} & k \neq 1 \end{cases} \quad (2)$$

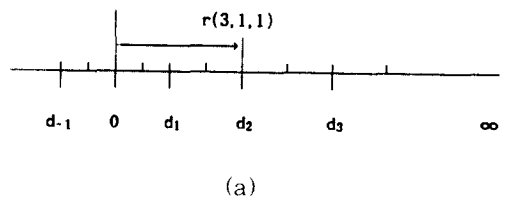
여기서 $r(n,k,s)$ 는 n 비트 배정된 양자화기에서 k 번째 비트를 전송할 때에 s 번째 재생 레벨을 나타내고, $p_{n,k,s}$ 는 n 비트 배정된 양자화기에서 k 번째 비트를 전송할 때에 s 번째 재생 레벨에 포함될 확률을 나타낸다.

또한 $R_i = r(n,k,2s-1) - r(n,k-1,s)$ 이고, $R_h = r(n,k,2s) - r(n,k-1,s)$ 이다. 단, $n = 1$ 이면 $r(1,0,1)$ 은 0이다. 그리고 $n = 1, 2, \dots, 8$ 이고, $k = 1, 2, \dots, n$ 이다.

$$B_i(3,1) = 2 \times r(3,1,1)^2 \times p_{3,1,1} \quad (3)$$

$$B_i(3,2) = 2 \times \left[\{ r(3,1,1) - r(3,2,1) \}^2 \times p_{3,2,1} + \{ r(3,1,1) - r(3,2,2) \}^2 \times p_{3,2,2} \right] \quad (4)$$

$$B_i(3,3) = 2 \times \left[\{ r(3,2,1) - r(3,3,1) \}^2 \times p_{3,3,1} + \{ r(3,2,1) - r(3,3,2) \}^2 \times p_{3,3,2} + \{ r(3,2,2) - r(3,3,3) \}^2 \times p_{3,3,3} + \{ r(3,2,2) - r(3,3,4) \}^2 \times p_{3,3,4} \right] \quad (5)$$



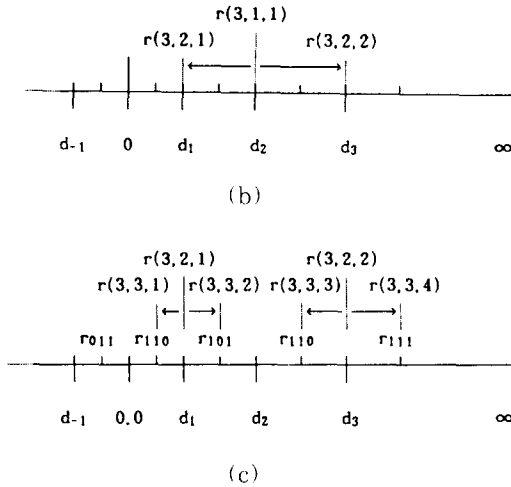


그림 5. 3 비트 양자화기에서 비트당 평균 전달 전력 계수를 구하는 과정
 (a) 3 비트 중 첫번째 비트를 전송할 경우
 (b) 3 비트 중 두번째 비트를 전송할 경우
 (c) 3 비트 중 세번째 비트를 전송할 경우

Fig. 5. Realization process of average transfer power factor per bit in 3 bit quantizer.

(a) In case of transmitting first bit among 3 bit. (b) In case of transmitting second bit among 3 bit. (c) In case of transmitting third bit among 3 bit.

예를 들면, 3비트 양자화기에서 첫번째 비트를 전송할 때의 비트당 평균 전달 전력 계수 $B_1(3,1)$ 은 그림 5(a)에 나타난 것과 같이 0과 $r(3,1,1)$ 의 차의 제곱 평균으로 식(3)와 같이 나타낼 수 있다. 마찬가지로, 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 3 비트 양자화기에서 두번째 비트를 전송할 때의 비트당 평균 전달 전력 계수 $B_1(3,2)$ 는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 그리고 그림 5(c)에서 보는 바와 같이 3 비트 양자화기에서 마지막 세번째 비트를 전송할 때의 비트당 평균 전달 전력 계수 $B_1(3,3)$ 은 식(5)과 같이 나타낼 수 있다. 이와 같은 방법으로 제안된 embedded 양자화기 중에서 방법 Ⅱ를 사용할 때의 비트당 평균 전달 전력 계수 $B_1(n,k)$ 는 표 2와 같다. 이때 확률 밀도 함수는 라플라스 분포이다.

유사한 방법으로 제안된 embedded 양자화기에서 방법 Ⅲ를 이용할 때 n 비트 중에서 K 번째 한 비트를 더 전송함에 따른 비트당 평균 전달 전력 계수 B_2

(n,k)는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$B_2(n,k) = \begin{cases} 2 \times r^2(1,1) \times p_{1,1} & k = 1 \\ 2 \times \sum_{s=1}^{n-k} \{ p_{k,2s-1} \times R_s^2 + p_{k,2s} \times R_s^2 \} & k \neq 1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $R_i = r(k, 2s-1) - r(k-1, s)$ 이고, $R_h = r(k, 2s) - r(k-1, s)$ 이다. 그리고 $n = 1, 2, \dots, 8$ 이고, $k = 1, 2, \dots, n$ 이다. 그리고 $r(k, s)$ 는 k 비트 양자화기에서 s 번째 재생 레벨을 나타내고, $p_{k,s}$ 는 k 비트 양자화기에서 s 번째 재생 레벨에 속할 확률을 나타낸다. 방법 Ⅲ를 사용할 때의 비트당 평균 전달 전력 계수 $B_2(n,k)$ 는 표 3과 같다. 이때 확률 밀도 함수는 라플라스 분포이다.

2. 비순차적 비트 정렬에 의한 DCT 영상의 점진적 전송

제한된 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방법을 점진적 DCT 영상 부호화에 적용할 경우의 전송 순서와 영상 재생 방법에 대해 기술한다.

1) 전송 순서

일반적으로 DCT 영상 부호화에서는 영상 재생을 위하여 비트 배정표를 전송하고, 이로부터 각 변환 계수의 분산을 추정한다.¹¹⁾ 그러므로 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방법을 DCT 영상 부호화에 적용할 경우에는 수신측에서 수신된 비트 배정표로부터 각 변환 계수에 대한 비트당 평균 전달 전력 계수를 추정할 수 있다. 이때 표 2와 표 3에서와 같이 embedded 양자화기에 따라 비트당 평균 전달 전력 계수가 약간 달라진다. 여기에 추정된 각 변환 계수의 분산을 곱함으로써 각 변환 계수에 대한 각 비트 전송시의 평균 전달 전력을 구할 수 있다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

표 2. 라플라스 확률 밀도 함수에 대한 평균 전달 전력 계수 (방법 Ⅰ): $B_1(n,k)$

Table 2. Average power transfer factor per bit for Laplacian probability density function (Method Ⅰ): $B_1(n,k)$.

k th bit(n)	1 th	2 nd	3 th	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th
1	.5000							
2	.5000	.3239						
3	.5000	.3216	.1240					
4	.5000	.3174	.1274	.0398				
5	.5000	.3140	.1299	.0408	.0114			
6	.5000	.3117	.1313	.0414	.0116	.0031		
7	.5000	.3103	.1321	.0418	.0117	.0031	.0008	
8	.5000	.3096	.1325	.0420	.0118	.0031	.0008	.0002

표 3. 라플라스 확률 밀도 함수에 대한 평균 전달 전력 계수 (방법 II) : $B_2(n, k)$

Table 3. Average power transfer factor per bit for Laplacian probability density function (Method II) : $B_2(n, k)$.

k th bit(n)	1 th	2 nd	3 th	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th
1	.5000							
2	.5000	.3239						
3	.5000	.3239	.1360					
4	.5000	.3239	.1360	.0479				
5	.5000	.3239	.1360	.0479	.0147			
6	.5000	.3239	.1360	.0479	.0147	.0041		
7	.5000	.3239	.1360	.0479	.0147	.0041	.0011	
8	.5000	.3239	.1360	.0479	.0147	.0041	.0011	.0003

$$T_{i,j}(n, k) = B_{i,j}(n, k) \times \sigma^2(i, j) \quad (7)$$

여기서 $B_{i,j}(n, k)$ 는 n 비트 배정된 i, j 번째 변환 계수에서 k 번째 비트를 전송할 때의 평균 전달 전력 계수를 나타내고, $\sigma^2(i, j)$ 는 i, j 번째 변환 계수의 분산을 나타낸다. 그리고 $T_{i,j}(n, k)$ 는 n 비트 배정된 i, j 번째 변환 계수에서 k 번째 비트를 전송할 때의 평균 전달 전력을 나타내는 지시자이다. 이와 같은 값들은 모두 수신측에서 수신된 비트 배정표와 embedded 양자화기로부터 추정할 수 있다. 그러므로 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방법을 DCT 영상 부호화에 적용할 경우에는 전송 순서를 결정하기 위한 추가 비트가 필요치 않음을 알 수 있다.

식(7)로부터 구해진 각 비트 전송시의 평균 전달 전력 $T_{i,j}(n, k)$ 를 크기 순으로 재정렬한 후, 한 비트 전송시 평균 전달 전력이 가장 큰 비트부터 비순차적 비트 정렬에 의해 점진적으로 전송하도록 하였다. 이와 같이 한 비트 전송시의 평균 전달 전력이 큰 비트부터 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송으로 기존의 계수 단위로 지그재그 주사에 의한 점진적 전송보다 더 적은 양의 정보를 전송하고도 영상의 개략적인 형태를 더 빨리 인식할 수 있다.

2) 영상 재생 방법

비순차적 비트 정렬에 의한 DCT 영상의 점진적 전송에서 송신측에서는 변환 계수를 배정된 비트에 따라 양자화한 후, 비트당 평균 전달 전력이 가장 큰 비트부터 한 비트씩 전송한다. 그리고 수신측에서는 모든 영상 정보가 전송될 때까지 기다리지 않고도 일부 수신된 영상 정보만으로 적당한 품질의 영상을 재구성할 수 있고, 또 사용자가 더 자세한 영상 정보를 필요로 하지 않을 경우에는 영상 정보의 전송을 중단

시킬 수 있다. 이와 같은 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송에서 일부 수신된 비트만으로 적당한 품질의 영상을 재구성하는데 필요한 정보는 다음과 같다. 첫째, 현재 수신된 신호가 어떤 변환 계수의 몇 번째 비트인지 정확히 알아야 한다. 이러한 정보는 앞에서 설명한 것과 같은 전송 순서로부터 어떤 변환 계수에 해당하는 비트인지 알 수 있고, 또 각 변환 계수에 대하여 배정된 비트 배정표 중에서 몇 비트가 전송되었는지를 기억함으로써 몇 번째 비트인지 알 수 있다. 둘째, 해당 변환 계수의 값이 한 비트씩 전송될 때마다 새로운 값을 기억하고 있어야 한다. 이와 같은 정보로부터 수신측에서는 각 변환 계수에 대한 배정된 비트수와 전송된 비트수, 그리고 현재 변환 계수의 값을 정확히 알 수 있으므로 embedded 양자화기를 이용하여 사용자가 필요할 때 언제든지 일부 수신된 비트로부터 영상을 재생할 수 있도록 하였다.

IV. 모의실험 결과 및 검토

제안된 방법의 성능 평가를 위하여 256 명암의 단계를 갖는 256x256 크기의 시험영상 GIRL 과 CRONKITE에 대하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 부호화 성능의 객관적인 평가 척도로 식 (9)에 나타낸 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였으며, 처리된 영상을 디스플레이 장치에 출력시켜 사진에 의한 화질 검사도 병행하였다. 식 (8)에서 N은 256이고 $O(i, j)$ 는 원 영상이며, $R(i, j)$ 는 재생된 영상이다.

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \{O(i, j) - R(i, j)\}^2 \quad (8)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (9)$$

제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법을 영역 표본화의 일종인 DCT 영상 부호화에 적용하여 변환 계수를 배정된 비트에 따라 지그재그 주사에 의해 계수 단위로 점진적으로 전송하는 방식²⁾과 비교해 보았다. 아울러 본 논문에서 설계된 Lloyd-Max 양자화기를 이용한 2 가지 방식의 embedded 양자화기를 각 비트별로 최종 재생 레벨을 기준으로 한 MMSE(minimum mean square error)와 전송된 비트에 따른 MMSE를 조사하여 기존의 embedded 양자화기와 비교해 보았다.

표 4은 본 논문의 embedded 양자화기와 기존의 embedded 양자화기에 대한 전송된 비트에 따른 MMSE를 조사한 것이다. 이때 확률 밀도 함수는 라플라스 분포로 가정하였다. 한 비트씩 전송함에 따른

MMSE의 경우 제안된 embedded 양자화기 중 방법 I은 기존의 embedded 양자화기와 거의 비슷한 성능을 나타내지만, 방법 II는 성능이 약간 떨어진다. 그러나 제안된 방법의 최종 재생 레벨의 MMSE는 기존의 embedded 양자화기에 비해 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

표 5와 표 6은 DCT 영상 변환 부호화에서 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식과 기존의 지그재그 주사에 의해 계수 단위로 점진적으로 전송하는 방식의 성능 평가를 위하여 1.0 [bpp] 부호화율로 조정하여 모의 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이때 시험 영상으로는 GIRL과 CRONKITE를 사용하였다. 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식에서는 제안한 2가지 방식의 embedded 양자화기를 사용하였다.

그림 6와 그림 7은 표 5와 표 6의 결과를 부호화율에 따른 왜곡을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에 나타난 바와 같이 낮은 부호화율에서 제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식이 계수 단위로

로 지그 재그 주사에 의한 점진적 전송 방식 보다 왜곡이 더 빨리 줄어듦을 알 수 있다. 특히, 0.06 [bpp] 정도의 부호화율에서 GIRL 영상은 약 2.3 [dB], CRONKITE 영상은 약 3.3 [dB] 개선되었다. 그리고 비순차적 비트정렬에 의한 점진적 전송에서 제안한 embedded 양자화기 중 방법 I을 사용한 경우와 방법 II를 사용한 경우를 비교해 보면 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 기존의 Lloyd-Max 양자화기를 그대로 embedded 양자화기로 사용하여도 성능에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

그리고 그림 8은 GIRL 과 CRONKITE 영상에 대하여 1.0 [bpp] 이하의 몇가지 부호화율에서 한 비트씩 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식과 지그재그 주사 방식으로 전송한 것을 재생한 영상이다. 그림 8(a)의 좌측 그림은 지그재그 주사 방식으로 DC 계수 8 비트만을 전송했을 때이고, 우측 그림은 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식에서는 평균 전달 전력이 가장 큰 비트부터 한 비트씩 8 비트까지 전송했을 때 재생된 영상을 나타낸다. 그

표 4. 한 비트씩 전송함에 따른 MMSE(라플라스 확률 밀도 함수)

Table 4. MMSE according to each one bit transmission(Laplacian pdf.).

No. of bits	No. of tx. bits	Conventional embedded quantizer	Proposed embedded quantizer	
			Method I	Method II
2	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1762	0.1762
3	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1784	0.1819
	3	0.05516	0.05448	0.05448
4	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1826	0.1919
	3	0.05516	0.05516	0.05914
	4	0.01537	0.01537	0.01537
5	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1861	0.2000
	3	0.05516	0.05626	0.06611
	4	0.01537	0.01550	0.01761
	5	0.004146	0.004102	0.004102
6	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1884	0.2051
	3	0.05516	0.05711	0.07119
	4	0.015373	0.015697	0.020671
	5	0.004146	0.004123	0.004921
	6	0.001097	0.001061	0.001061
7	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1897	0.2080
	3	0.05516	0.05762	0.07420
	4	0.015373	0.015836	0.022775
	5	0.004146	0.004151	0.005991
	6	0.001097	0.001064	0.001318
	7	0.000286	0.000270	0.000270
8	1	0.5	0.5	0.5
	2	0.1826	0.1904	0.2095
	3	0.05516	0.05791	0.07583
	4	0.015373	0.015919	0.023982
	5	0.004146	0.004171	0.006705
	6	0.001097	0.001068	0.001645
	7	0.000286	0.000270	0.000343
	8	0.000074	0.000068	0.000068

표 5. DCT 영상 부호화에서의 화질개선 기법의 성능 비교 (GIRL)

Table 5. A performance comparison of image quality improvement techniques in pyramid image (GIRL).

[bits/pel]	Zig-zag [dB]	Bit-by-bit [dB]	
		Method I	Method II
0.036	20.43	21.67	21.62
0.060	21.31	23.60	23.49
0.130	24.84	26.21	26.08
0.251	27.17	28.24	28.09
0.388	29.14	30.00	29.87
0.505	30.47	31.04	30.93
0.630	31.71	31.98	31.86
0.759	32.73	32.80	32.73
1.005	34.19	34.19	34.19

림 8(b)의 좌측 그림은 지그재그 주사 방식으로 14 비트만을 전송했을 때이고, 우측 그림은 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식에서는 평균 전달 전력이 가장 큰 비트부터 한 비트씩 14 비트까지 전송했을 때 재생된 영상을 나타낸다. 그리고 그림 8(c)의 좌측 그림은 지그재그 주사 방식으로 16 비트

만을 전송했을 때이고, 우측 그림은 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식에서는 평균 전달 전력이 가장 큰 비트부터 한 비트씩 16 비트까지 전송했

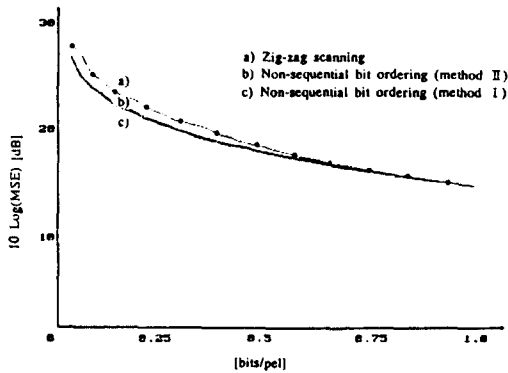


그림 6. 부호화율에 따른 왜곡 (GIRL)
Fig. 6. Graph of distortion vs bit rate (GIRL).

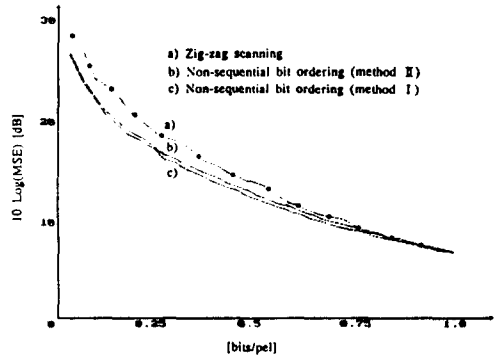
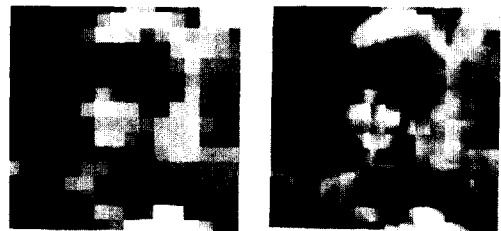


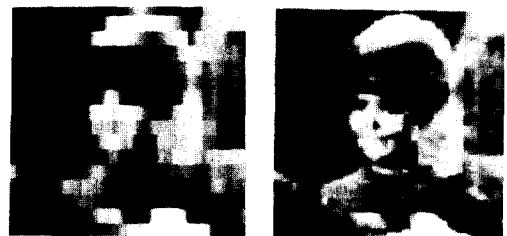
그림 7. 부호화율에 따른 왜곡 (CRONKITE)
Fig. 7. Graph of distortion vs bit rate (CRONKITE).

표 6. DCT 영상 부호화에서의 화질 개선 기법의 성능 비교 (CRONKITE)
Table 6. A performance comparison of image quality improvement techniques in pyramid image (CRONKITE).

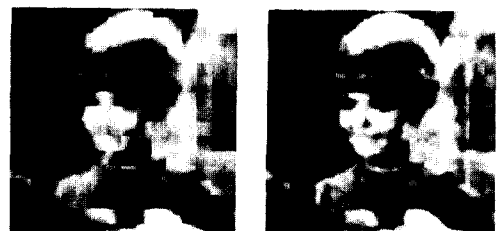
[bits/pel]	Zig-zag [dB]	Bit-by-bit [dB]	
		Method I	Method II
0.036	18.92	21.05	20.91
0.067	20.60	23.92	23.62
0.126	24.22	27.13	26.79
0.251	28.94	30.80	30.59
0.391	32.14	33.96	33.37
0.508	34.19	35.84	35.43
0.630	36.81	37.71	37.20
0.758	38.68	39.06	38.79
1.005	41.33	41.33	41.33



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 8. 지그재그 주사방식(왼쪽)과 비트정렬 전송 방식(오른쪽)의 재생영상

(a) 0.036 [bpp] (b) 0.060 [bpp]
 (c) 0.087 [bpp] (d) 0.138 [bpp]
 (e) 0.505 [bpp] (f) 1.005 [bpp]

Fig. 8. Reconstructed images using the zig-zag scanning method(left) and the bit ordering transmission method(right).

(a) 0.036 [bpp] , (b) 0.060 [bpp] ,
 (c) 0.087 [bpp] , (d) 0.138 [bpp] ,
 (e) 0.505 [bpp] , (f) 1.005 [bpp] .

을 때 재생된 영상을 나타낸다. 이와 같은 방법으로 전송되는 비트 수를 증가시켰을 때의 재생 영상을 비교해 보면, 전체적으로 제안된 비순차적 비트 정렬에 의한 점진적 전송 방식이 지그재그 주사 방식에 비하여 낮은 부호화율에서 영상의 개략적인 형태를 더 빠

리 인식 할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 단계 영상별 화질 개선을 위하여 추가 비트를 사용하지 않고도 한 비트 전송시 오차 제곱 평균이 가장 많이 줄어드는 비트부터 한 비트씩 재정렬하여 전송하는 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법을 제안하였다. 이때 한 비트씩 전송될 때 마다 재생 레벨을 찾을 수 있는 embedded 양자화기로 Lloyd-Max 양자화기를 이용한 2 가지 방식의 embedded 양자화기를 설계하여 사용하였다.

제안한 비순차적 비트 정렬에 의한 화질 개선 기법의 성능 평가를 위하여 영역 표본화 방식의 일종인 DCT 영상 부호화에 적용하여 기존의 배정된 비트에 따라 지그재그 주사에 의해 계수 단위로 점진적으로 전송하는 방법과 비교하였다. 그 결과 영상의 개략적인 형태를 더 빨리 인식할 수 있었으며, 특히 약 0.06 [bpp] 정도의 부호화율에서 기존의 계수 단위 전송 방법에 비하여 GIRL 영상은 약 2.3 [dB] , CRONKITE 영상은 약 3.3 [dB] 정도 개선되었다.

參考文獻

- [1] P. A. Wints, "Transform picture coding", *IEEE Proc.*, vol.60, no.7, pp. 809-820, July, 1972.
- [2] W. Chen, C.H. Smith, and S.C. Fralick, "A fast computational algorithm for the discrete cosine transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-26, pp.934-936, June 1978.
- [3] K. Ngan, "Image display techniques using the cosine transform," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Proc.*, vol. ASSP-32, no.1 pp. 173-177, Feb. 1984.
- [4] K. Tzou, "Embedded max quantization," in *proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Proc.*, ICASSP' 86, pp. 505-508, 1986.
- [5] K. Tzou and S. Elnahas, "Bit-sliced progressive transmission and reconstruction of transformed images," in *proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Proc.*, ICASSP' 86, pp.533-536.

- 1986.
- [6] P.F. Swazek and J.B. Thomas, "Design of quantizers from histograms." *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-32, no.3, pp.240-245, March 1960.
- [7] J. Max, "Quantization for minimum distortion." *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol.IT-6, pp.7-12, March 1960.
- [8] M.D. Paez and T.H. Glisson, "Minimum mean squared error quantization in speech PCM and DPCM systems." *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-20, pp.225-230, Apr. 1972.
- [9] R. Clarke, *Transform Coding of Images*. Academic Press, pp.32-171, 1985.

 著者紹介



金鍾勳(正會員)

1958年 11月 19日生. 1980年 10月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1984年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 취득. 1993年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사 취득. 1981年 1月~1982年 2月 금성정밀(주) 중앙연구소 연구원. 1984年 3月~1994年 2月 연암공업전문대학 전자과 부교수. 1994年 3月~현재 동양공과대학 통신공학과 조교수. 주관심 분야는 음성 및 영상 신호처리, 정보통신 등임.



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.



沈英錫(正會員)

1953年 12月 14日生. 1976年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1978年 8月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사 취득. 1982年 한국과학기술원 공학박사 취득. 1983年 3月~1990년 3月 경북대학교 전자공학과 부교수. 1990년 4月~현재 생산기술연구원 수석 연구원. 주관심 분야는 영상신호처리, HDTV 개발 등임.