

Edge 정보에 근거한 피라미드 영상 부호화 (Pyramid Image Coding Using Edge Information)

金 海 星*, 金 南 哲**

(Hae Sung Kim and Nam Chul Kim)

要 約

본 논문에서는 피라미드 부호화에서 몇가지 수행이 간단한 방법을 사용하여 0.3~0.5bits/pel의 고감축율에서도 양호한 품질의 영상을 얻고자 하였다. 이를 위하여 Laplace 평면 구성의 제환방식, 3차원 예측기, 그리고 중앙집중 양자화기를 부호화시 도입하였다. 또한, 최하층의 비트율을 대폭 감축하기 위해 조건부로 전송하는 방식과 전송하지 않고 에지 선명화하는 방식을 새로이 적용하였다. 실험결과, 에지 선명화 방식에 의한 부호화시 0.3bits/pel의 엔트로피로 구해진 비트율에서도 비교적 양호한 품질의 영상을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, several simple approaches to Laplacian pyramid coding have been presented for obtaining reasonably acceptable image quality even at low bit rates of 0.3-0.5 bits/pel. For this purpose, the feedback construction of each Laplacian plane, 3-dimensional prediction and three-level center-clipping quantization are introduced into the coding procedures. For greatly reducing the bit rate of the bottom layer, two new schemes of conditional transmission and edge sharpening without transmission are used. In experiments, our latter scheme has yielded the total bit rate of about 0.3 bits/pel while retaining reasonably acceptable image quality.

I. 서 론

1960년대 이후 지난 20년 동안 주로 연구되어온 영상부호화 기법으로는 공간영역에서의 DPCM (differential PCM)^[1] 변환영역에서 DCT (discrete cosine transform) 등을 이용한 변환부호화(transform coding)^[2] DPCM과 변환부호화의 장점을 이용한 복합부호화(hybrid coding)^[3] 등이 있다. 이러한 방법들은

정보이론과 부호화이론에 근거하여 영상 데이터 사이의 중복성(redundancy)을 제거한 후 영상에 적절한 codeword를 할당하는데 주력하는 부호화 방법으로, 이를 1세대 영상부호화라 한다. 한편 최근에 형상인식이나 인공지능 등의 이론을 이용하여 사람의 시각 특성에 맞추어 효과적으로 높은 감축율을 얻는 부호화 방법은 2세대 영상부호화라고 한다.^[4]

2세대 영상부호화로 분류되는 피라미드 부호화(pyramid coding)^[4]는 영상을 먼저 계층적인 피라미드 형태로 구성한 후, 아래층과 위층의 차영상을 각각 점진적으로 전송하는 부호화 방법이다. 이때, 먼저 계층적으로 구성된 영상을 Gauss 평면이라 하며,

*準會員, **正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1988年 1月 4日

(※ 본 연구는 서울대학교 공과대학 위탁 연구과제의 일부로 이루어진 것임.)

실제 전송되는 아래층과 위층과의 차영상을 Laplace 평면이라한다. 피라미드 부호화에서는 영상을 개략적인 형태에서 점차 상세한 부분까지 점진적으로 전송, 재생하기 때문에 사람이 물체를 인식하는 시각적 특성과 일치한다. 따라서, 이 방법은 관측자의 심리적 부담을 덜어주어 영상회의 시스템이나 영상전화 시스템 등에 유용하게 응용될 수 있다.¹⁵⁾ 또한, 송신측에서 영상을 계층적으로 구성하는 방식은 TV방송국이나 신문사 등의 영상 데이터 베이스에서 원하는 영상을 찾고자 할 때, 대체적인 형태를 인식할 수 있을 정도의 작은 크기의 영상을 짧은 시간내에 재현하여 원하는 영상만을 고속으로 수취(retrieval)하는 데에도 응용될 수 있다.

1983년 Burt와 Adelson에 의하여 제안된 피라미드 부호화¹⁶⁾는 일반적으로 0.75 ~ 1.0 bpp(bits/pel) 정도에서 우수한 품질을 보이지만 그 이하로 비트율을 낮추기는 매우 어렵다.¹⁴⁾ 따라서, 그동안 피라미드 부호화의 성능을 더욱 개선시키기 위한 연구들이 활발히 진행되었다. 여기에는 벡터 양자화(vector quantization)에 의하여 양자화시의 효율을 개선시킨 방법,¹⁷⁾ QMF(quadrature mirror filter)를 적용하여 Gauss 평면을 구성할 때 기존의 Gauss 형 필터보다 MSE(mean square error) 면에서 최적으로 만드는 방법¹⁸⁾ 등이 있다. 이러한 방법들은 일반적으로 0.5 ~ 0.6 bpp에서도 좋은 성능을 보이는 것으로 보고되고 있다. 그러나, 벡터 양자화기의 적용시 코드북(code book)을 발생시키고 탐색하는데 많은 시간이 소요되며, QMF의 적용시 하나의 층에 대하여 각기 사분면으로 영상을 구성해야 하기 때문에 전체적인 처리가 복잡하게 되어 실시간 처리가 용이하지 못하다.

본 논문에서는 피라미드 부호화에서 비교적 수행이 간단한 방법을 사용하여 벡터 양자화기를 사용하지 않고서도 0.3~0.5 bpp 정도의 비트율에서 양호한 품질의 영상을 얻고자 하였다. 이를 위하여 Laplace 평면 구성의 제환 방식, 3차원 예측기, 그리고 중앙집중(center-clipping) 양자화기를 부호화시 도입하였다. 또한, 피라미드의 최하층에서 에지 후 보점만을 전송하는 방식과, 최하층을 전송하지 않고 에지 선명화에 의하여 최하층을 재생시키는 방식을 새로이 제안하였다.

II. 기존의 피라미드 부호화

1. Gauss 평면 및 Laplace 평면의 구성

전송하고자 하는 원영상으로부터 수평과 수직으로 각각 2 : 1로 subsampling 하여 계층적인 피라미드

형태로 영상을 구성하는데, 먼저 256×256크기의 영상을 128×128크기의 영상으로 구성한 후 다시 64×64, 32×32 크기의 영상으로 계층적으로 원하는 크기의 영상까지 구성한다. 이때 각 층들의 영상을 Gauss 평면이라 하며, 각 층에서 처리하려는 Gauss 평면과 그 바로 위층의 Gauss 평면과의 오차를 Laplace 평면이라 한다. 그림 1은 기존의 피라미드 부호화의 전체 구성도 이다.¹⁶⁾ 위에서 설명한 바와 같이 원영상인 G_0 에서 subsampling과 저역 필터링(low pass filtering)을 동시에 행하여 G_1, G_2, G_3 등을 각각 원하는 레벨의 층까지 구성하는데, 이때 계층적인 Gauss 평면의 구성식은 다음과 같다.

$$G_{l+1}(i,j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) G_l(2i+m, 2j+n) \\ l=0,1,2,\dots,N-1 \quad (1)$$

여기서, l 은 평면의 각 층의 레벨, N 은 구성되는 층의 갯수를 나타낸다. 그리고, $w(m,n)$ 은 Gauss 평면에 적용되는 가중함수로서 다음과 같은 관계식을 만족시킨다.

$$w(m,n) = \hat{w}(m) \hat{w}(n) \quad (2)$$

여기서, \hat{w} 는 가중함수의 특성을 변화시키는 요소인 a 에 따라서 대칭적으로 분포하는 함수로서

$$\sum_{m=-2}^2 \hat{w}(m) = 1$$

이며, (3)식과 같은 조건을 만족시킨다.

$$\hat{w}(0) = a \\ \hat{w}(-1) = \hat{w}(1) = 1/4 \\ \hat{w}(-2) = \hat{w}(2) = 1/4 - a/2 \quad (3)$$

다음으로, 각 층에서의 Laplace 평면 L_l 은 Gauss 평면 G_l 과 그 바로 위층의 Gauss 평면 G_{l+1} 을 G_l 과 같은 크기로 보간(interpolation)한 영상과의 차로써 구성된다.

$$L_l(i,j) = G_l(i,j) - 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) G_{l+1}((i-m)/2, (j-n)/2) \quad l=0,1,2,\dots,N-1 \quad (4)$$

여기서, 합 의 계산시 5×5 창내에서 $(i-m)/2, (j-n)/2$ 이 정수가 되는 위치만 고려된다. 그리고, 가장 높은 층에서는 $G_{N-1} = L_{N-1}$ 으로 Gauss 평면이 그대로 Laplace 평면이 된다.

2. 양자화 및 재생

피라미드 부호화에서는 양자화 후 엔트로피 부호화(entropy coding)를 하는데, 엔트로피 부호화시는

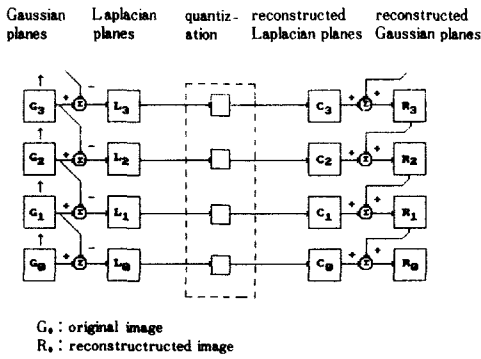


그림 1. 기존의 피라미드 부호화의 블록도
 Fig. 1. Block diagram of the conventional pyramid coding.

균일 양자화기(uniform quantizer)가 좋은 성능을 가지므로 일반적으로 균일 양자화기를 사용한다. 해상도가 낮은 층일수록 영상의 개략적인 형태 정보를 포함하므로 양자화 레벨수를 많이 하고 양자화 간격도 작게 하며, 해상도가 높은 층일수록 영상에서 변화가 심한 정보를 포함하므로 양자화 레벨수를 작게 하고 양자화 간격을 크게 하여 부호화한다. 각 층에 대한 균일 양자화기의 구성식은 다음과 같이 표현된다.

$$C_i(i, j) = m \cdot n, \text{ if } (m-1/2) \cdot n < L_i(i, j) \leq (m+1/2) \cdot n \quad (5)$$

여기서, m 은 양자화 레벨이며 n 은 양자화 간격을 나타낸다.

한편, 수신측에서는 전송된 Laplace 평면 C_i 과 위층에서 재생된 Gauss 평면 R_{i+1} 의 합으로써 각 층에서의 재생영상을 구성하는데, 이와 같은 과정을 최하층까지 반복하여 최종적인 원영상 G_0 에 대한 재생영상 R_0 를 구성한다.

$$R_i = C_i + \text{Interpolation of } \{R_{i+1}\} \quad (6)$$

여기서, 보간함수는 (4)식에서 사용된 식과 동일하다. 그리고, 가장 높은 층에서는 $R_{N-1} = C_{N-1}$ 이 된다.

(6)식과 같은 점진적인 재생과정에서 만약 양자화 왜곡이 없다면 $G_i = R_i$ 이 된다. 그러나, 여기서는 송신측과 수신측이 제각기 따로 구성됨으로써, 실제의 경우 각 층에서 발생한 양자화 왜곡이 아래층으로 전파되어 결국 최종 재생영상에서 왜곡이 누적되어 나타날 수 있다.

III. 제안된 피라미드 부호화

본 논문에서는 피라미드의 각 층에서의 양자화 왜

곡이 아래층의 양자화시 보상될 수 있도록 Laplace 평면을 제환 방식으로 구성하였다. 즉, 그림 2에서와 같이 Laplace 평면을 처리하고자 하는 Gauss 평면 G_i 과 위층에서 재생된 Gauss 평면 R_{i+1} 과의 차로써 구성하였다.

$$L_i(i, j) = G_i(i, j) - 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m, n) R_{i+1}((i-m)/2, (j-n)/2) \quad (7)$$

이로써 재생된 Gauss 평면 R_{i+1} 에서 생긴 왜곡이 Laplace 평면 L_i 의 양자화시 DPCM 시스템에서와 같은 원리로 보상된다. 따라서, 이러한 시스템의 송신단은 수신단 기능까지 포함(C_i 및 R_0 평면제외)하여 구성되어야 한다.

(7)식과 같이 구성된 Laplace 평면에서, 층안과 층간의 중복성을 더욱 제거하기 위해서 3차원 예측기를 사용하였고, 최하층의 효과적인 양자화를 위해서 중앙집중 양자화기를 사용하였다. 또한, 최하층에서 에지 후보점만을 추출하여 전송하는 조건부 전송 방식과, 최하층을 전송하지 않고 수신측에서 에지 선택명의 후처리과정에 의하여 최하층을 재생시키는 방식을 새로이 제안하였다.

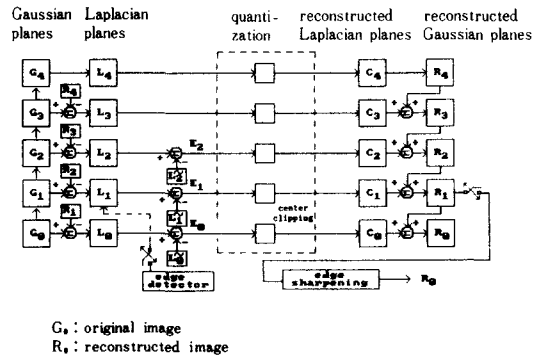


그림 2. 제안된 피라미드 부호화의 블록도
 Fig. 2. Block diagram of the proposed pyramid coding.

1. 3차원 예측기

각 층에서 Laplace 평면의 신호들을 보면, 배경부분에서는 각 층마다 대개 신호값이 작고 에지 부분에서는 신호값이 대단히 크게 나타난다. 이것은 층 사이에도(특히 에지 부분에서) 어느 정도의 상관성이 있음을 나타내므로, 3차원 예측을 하였다. 이때, 3차원 예측시 이용되는 주변 화소들의 위치는 그림 3과 같다. 여기서, $L_i(i, j)$ 은 현재 처리하려는 화

소의 값이고, A와 B는 현재 층(present layer)의 양자화된 Laplace 평면의 신호이며, C는 이전층(previous layer)의 양자화된 Laplace 평면의 신호를 나타낸다. 본 논문에서 사용된 3차원 예측기의 구성식은 다음과 같다.

$$\bar{L}_l(i, j) = (A+B)/3 + C/3 \times \text{DIV}, \quad l=2,1,0 \quad (8)$$

여기서, DIV는 각 층에서 Laplace 평면의 분산이 다르기 때문에 각 층의 분산의 비율을 고려해 준 값이다.^[9,10]

다음으로, 예측오차 $E_l(i, j)$ 는 다음과 같이 현재 처리 하고자 하는 화소 $L_l(i, j)$ 과 예측치 $\bar{L}_l(i, j)$ 와의 차로써 구해진다.

$$E_l(i, j) = L_l(i, j) - \bar{L}_l(i, j), \quad l=2,1,0 \quad (9)$$

이렇게 구해진 예측오차는 양자화되어 수신측으로 전송된다.

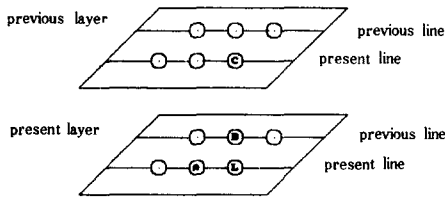


그림 3. 화소 L의 3차원 예측에 사용되는 화소들의 위치

Fig 3. Positions of picture elements used for 3-dimensional prediction of an element L.

2. 중앙집중 양자화기

Laplace 평면의 최하층은 보통 3-레벨로 양자화를 하게 되는데, 3-레벨의 균일 양자화기에서 외곽 양자화 출력값은 판별 레벨의 1/2이다. 그런데, 전체 비트율이 0.75 bpp 이하의 낮은 비트율에서는 이와같은 방법으로 양자화할 경우, 최하층의 비트율이 전체 비트율에서 차지하는 비중이 커서 원하는 비트율로 낮추기가 대단히 어렵다. 그렇다고 비트율을 낮추기 위해 단순히 양자화 출력값을 크게 한다면 입상잡음(granular noise)이 발생하여 배경에서의 시각적 품질이 크게 떨어진다.

따라서 본 논문에서는 최하층의 양자화시 그림 4와 같이 판별 레벨의 간격을 균일 양자화기보다 바깥쪽으로 더 확장함으로써 비트율을 감소시키는 중앙집중 양자화기를^[11] 적용하였다. 이때, 양자화기의 입

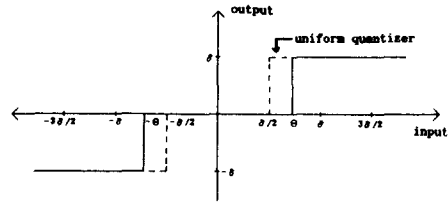


그림 4. 3-레벨 중앙집중 양자화기의 입출력 특성

Fig. 4. Input-output characteristic of a three-level center-clipping quantizer.

출력 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$C_l(i, j) = \begin{cases} \delta, & L_l(i, j) \geq \theta \\ 0, & -\theta < L_l(i, j) < \theta \\ -\delta, & L_l(i, j) \leq -\theta \end{cases} \quad (10)$$

여기서, θ 는 중앙집중 양자화기의 판별 레벨이고, δ 는 바깥 레벨의 양자화 출력값이다. 이와같이, 중앙집중 양자화기는 균일 양자화기보다 더 많은 화소들을 0-레벨로 집중시킴으로써 비트율을 더욱 감소시킨다. 이때, 영상의 품질은 다소 저하되지만 단순히 양자화 출력값을 크게 하는 것에 비해 비트율을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

3. 경계 검출에 의한 최하층의 조건부 전송

앞서 서술한 Laplace 평면의 계한 구성, 하단 3개 층에 3차원 예측기, 그리고 최하층에 중앙집중 양자화기를 사용한 피라미드 부호화에 의하여 최종 비트율 0.75 bpp로 재생된 각 층의 Gauss 영상을 살펴보면 그림 5와 같다. 여기서 4층(16×16) 및 3층(32×32)의 영상은 개략적인 형태와 배경 정보를 포함하며, 2층(64×64) 및 1층(128×128)의 영상은 에지의 대체적인 정보까지, 그리고 0층(256×256)인 최하층은 배경의 입상성분(granularity) 및 에지의 상세한 정보까지 포함하고 있음을 알 수 있다. 이때, 최하층의 화소의 수가 원영상과 같기 때문에, 최하층의 비트율이 전체비트율에서 차지하는 비율은 거의 50%나 된다.^[6] 따라서, 고감축율을 얻기 위해서는 최하층의 비트율을 대폭 감축해야 한다. 그런데, 1층까지 수신하여 복원된 영상은 대부분이 구성된 상태이고, 단지 배경의 입상성분 및 에지의 상세한 정보만이 누락되어 있다. 따라서 최하층의 Laplace 평면에서 에지 부분을 추출하여 에지의 상세한 정보만을 전송하면 영상의 품질을 크게 떨어뜨리지 않고 비트율을 대폭 낮출 수 있다.

본 논문에서는 이를 위하여 추가정보없이 최하층

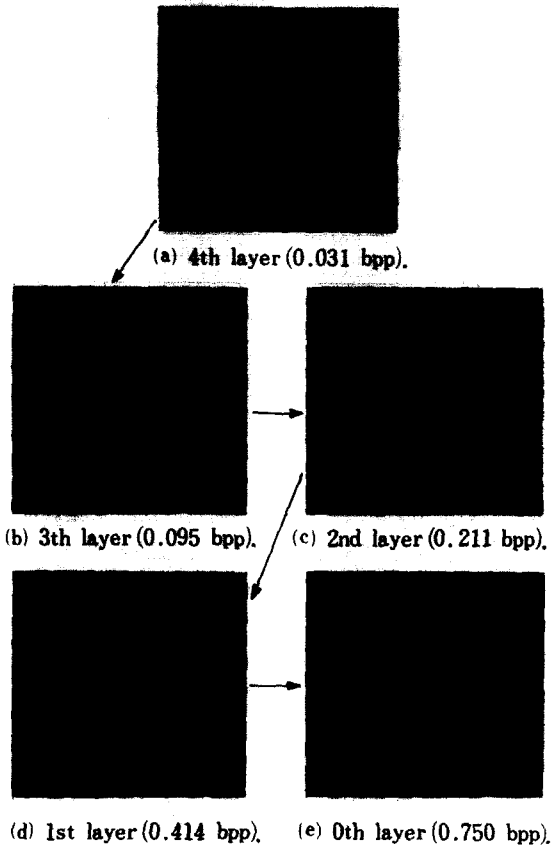


그림 5. 각 층의 점진적 재생(누적 비트율)

Fig. 5. Progressive reconstruction of each layer (cumulative bit rate).

에서 에지부분만을 추출하여 전송하는 조건부 전송 방식을 제안하였다. 여기서, 먼저 수신된 1층의 Laplace 평면을 최하층과 같은 크기로 보간한 후, 각 화소에 다음과 같은 Sobel 연산자^[11]를 적용하였다.

L_1	L_2	L_3
L_4	$C_1(i,j)$	L_5
L_6	L_7	L_8

$$\begin{aligned}
 F(i,j) &= |X| + |Y| \\
 X &= (L_1 + 2L_2 + L_3) - (L_4 + 2L_5 + L_6) \\
 Y &= (L_1 + 2L_2 + L_3) - (L_4 + 2L_7 + L_8)
 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $F(i,j)$ 는 연산자의 출력이고 T_s 는 그 역치이다. 다음으로, 연산결과 $F(i,j)$ 가 주어진 역치 T_s 보다 큰 화소 위치에 해당하는 0층 Laplace 평면의 화소들만 에지 후보점으로 판단하여 전송한다. 이로

써 추가정보없이 최하층의 비트율을 상당히 감축하면서 에지의 상세한 정보도 보완할 수 있다.

4. 에지 선명화에 의한 최하층의 재생(합성)

일반적으로 0.5 bpp 이하의 높은 감축율이 요구되는 시스템에서 최하층까지 전송하면서 비트율을 그 이하로 낮춘다는 것은 대단히 어렵다. 본 논문에서는 매우 높은 감축율의 시스템을 구성하기 위하여 최하층을 전송하지 않고, 수신된 1층의 Gauss 영상으로부터 에지 선명화의 후처리과정에 의하여 최하층을 재생(합성)하는 방식을 제안하였다. 이를 위하여, 1층의 재생영상을 최하층과 같은 크기로 보간한 후, 2차 미분연산자를 적용하여 그 출력을 0층의 재생영상으로 한다. 일반적으로 Laplace 연산자^[11]를 에지선명화 연산자로서 사용할 경우 연산자가 잡음에 약하여 양자화 잡음까지 선명히 드러나게 되는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 최근 Laplace 연산자의 잡음에 대한 성능을 보완하기 위하여 개발된 Chanda 연산자^{[14],[15]}를 사용하였다. 먼저, $R_1(i,j)$ 화소를 중심으로 5×5 창내의 화소들을 8방향으로 구분하였다. 이때, Chanda 연산자의 출력식은 다음과 같다.

$$H(i,j) = R_1(i,j) - \frac{\sum_{k=1}^8 \{g_k^n (\mu_k - R_1(i,j))\}}{\sum_{k=1}^8 g_k^n}$$

$$g_k = \frac{\sigma_k}{\max\{\sigma_k\}}, \quad k=1,2,\dots,8$$

(12)

여기서, μ_k, σ_k 는 각 8방향의 평균과 분산이며, g_k 는 각 8방향의 분산에 의하여 정해지는 가중치이다. 그리고, 지수 n 은 선명화의 강도를 결정하는 요소이다.

그런데, 영상의 모든 부분에 대하여 선명화를 하면 양자화 잡음까지도 선명화되는 경우가 있기 때문에, 본 논문에서는 Sobel 연산자를 보간된 1층의 Laplace 평면에 적용하여 연산결과 $F(i,j)$ 가 주어진 역치 T_c 보다 큰 화소들만을 선명화시켰다.

$$R_0(i,j) = \begin{cases} H(i,j) & , F(i,j) \geq T_c \\ \sum_{k=1}^8 \mu_k / 8 & , F(i,j) < T_c \end{cases} \quad (13)$$

즉, 에지이면 최종 재생영상을 Chanda 연산자의 출력값으로 하고, 에지가 아닌 부분에는 주위 8방향의 평균으로 대체하였다.

IV. 실험결과 및 검토

기존의 피라미드 부호화 방법은 7층까지 평면을 구성하지만 5층이상은 실제 화질에 미치는 영향이 적기 때문에, 본 논문에서는 4층까지로 제한하여 평면의 구성을 간단히 하였다. 실험에 사용된 영상은 상반신 영상의 대표적인 GIRL 영상이다. 이것은 8비트로 디지털화된 256×256 크기의 영상이며, 분산치는 1816이고 평균치는 181이다. 그런데, 4층인 16×16 크기의 평면은 평균치를 포함하고 있으므로 균일양자화에 의한 8 비트 PCM으로 부호화하였다.

1. 양자화 레벨수 및 간격

표 1은 기존의 방법에 의하여 0.75 bpp로 양자화 시 Laplace 평면에서의 분산치와 양자화 레벨수 및 간격, 그리고 각 층에서의 비트율을 나타낸 표이다. 여기서, 양자화기로는 균일 양자화기를 사용하였다. 양자화 레벨수는 신호의 분산에 따라서 배정하는데, 대략 3,2,1, 그리고 0층에 대하여 각각 31, 15, 7, 3개 정도가 적절하다. 그리고, 양자화 간격은 Laplace 분포에 대한 균일 Max 양자화기¹²⁾에 대한 간격들을 초기치로 하여, 비트율 및 SNR과 주관적 품질면에서 적절한 값으로 다소 수정 선택하였다. 이때 특별히 1층과 0층은 비트율의 부담이 과중하고 신호의 변화가 큰 에지부분이므로, 양자화 간격을 실험에서 선택한 적정 간격의 2배로 하여 양자화 간격을 다소 크게 하였다. 양자화시 3층과 2층의 양자화 간격을 너무 크게 하면 배경에 입상잡음 (granular noise)이 발생하기 때문에 가급적 레벨수를 충분히 배정하고 간격을 조밀하게 정하는 것이 좋다. 이렇게 하여도 3층과 2층은 원영상에 비하여 각각 64:1, 16:1로 subsampling 되기 때문에 실제 비트율은 작게 된다. 표 2는 표 1의 기존의 방법에 의한 결과와 비교하기 위해 3차원 예측기(2~0층)와 중앙집중 양자화기($\theta=0.6\delta$)를 사용하여 0.75 bpp로 부호화하였을 때 제안된 방법의 결과이다. 여기서, 2층과 1

표 1. 기존의 피라미드 부호화에서 각 층의 균일 양자화기의 레벨수 및 간격

Table 1. Number of levels and step size of uniform quantizer in each layer for the conventional pyramid coding.

layer	variance	# of levels	step size	bit rate (bpp)
3	231	31	3	0.064
2	114	15	12	0.115
1	68	7	19	0.209
0	44	3	28	0.333

표 2. 제안된 피라미드 부호화에서 각 층의 양자화기의 레벨수 및 간격

Table 2. Number of levels and step size of quantizer in each layer for the proposed pyramid coding.

layer	variance		# of levels	step size	bit rate [bpp]
	before prediction	after prediction			
3	231		31	3	0.064
2	120	77	15	9	0.116
1	71	50	7	13	0.203
0	54	44	3	19	0.335

층, 그리고 0층의 분산이 표 1에 나타난 것보다 다소 증가한 것은 제안된 방법으로 Laplace 평면이 구성될 때, 위층에서 아래층으로 변환되는 양자화 잡음의 영향 때문이다. 3차원 예측에 의하여 분산치는 하단 3개의 층에서 각각 35~20% 정도 감소되는데, 실험결과 이 값은 에지에서의 효과임을 알 수 있었다.

2. 변수의 결정

Gauss 평면을 구성할 때의 가중함수의 특성을 조절하는 요소인 a는 일반적으로 0.4~0.7 정도의 값을 사용하면 된다.¹⁴⁾ 본 논문에서는 편의상 a=0.5를 사용하였다.

그리고, 3차원 예측기에서 각 층에서의 분산치의 비율을 고려한 DIV는 실험결과 위층의 분산이 아래층보다, 1.5~2.5배 정도 큰 것으로 나타났는데, 시스템을 간단히 하기 위하여 DIV=2로 고정하였다.¹¹⁾ 또한, 중앙집중 양자화기의 적용시 최하층의 비트율은 역치 θ 에 의하여 결정되는데, 실험결과 θ 는 비트율과 품질면의 절충으로써 0.6 δ ~0.7 δ 정도가 적합하였다.

조건부 전송으로 에지부분만을 추출하여 부호화할 때, 전송되는 화소의 수는 Sobel 연산자의 역치로 조절할 수 있는데, 이때 역치를 50~70으로 하면 7000~10000개 정도의 화소가 추출된다. 추출된 7000개 정도의 화소를 3레벨로 양자화하면 0.1~0.2bpp 정도의 비트율로써 부호화할 수 있다. 따라서, 조건부 전송으로 최하층을 처리할 때 영상의 품질을 기존의 피라미드 부호화에서의 0.75 bpp의 결과와 비슷한 정도로 유지하면서 최종 비트율을 0.5 bpp 정도로 낮출 수 있다.

그리고, 에지 선명화의 후처리과정에서 선명화의 강도를 결정하는 요소인 지수 n은 일반적으로 0~32

정도로 정하는 것으로 알려져 있다.^[14] 그러나, $n=0$ 인 경우는 선명화의 정도가 약하고, $n=5$ 이상으로 할 경우는 너무 선명화되어 시각적으로 부자연스러운 결과를 초래하게 된다. 그 이유는 (12)식에서 $n=5$ 이상일 경우 Chanda 연산자의 특성이 8구역중 특정한 1구역에만 큰 가중치를 주고, 그 외의 구역에서는 거의 0에 가까운 가중치를 두는데서 생기는 결과이다. 따라서, 본 논문에서는 n 을 0.5~0.9 정도로 하여 특정한 1구역을 다소 강조하면서도 나머지 7구역에도 완만한 가중치를 부여하여 에지를 적절히 선명하게 하였다.

3. 실험결과

기존의 방법과 제안한 방법들에 대하여 주관적 실험결과에 근거하여 각 층에서의 비트율이 위층에 비해 1.5~2배 정도가 되도록 비트할당을 하여 부호화한 후, 객관적인 평가의 척도로 SNR (signal to noise ratio)을 조사하고 처리된 영상을 디스플레이 장치에 출력시켜 주관적인 평가도 병행하였다. 이때, SNR은 다음과 같이 정의된다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{(255)^2}{\frac{1}{256^2} \sum_{i=1}^{255} \sum_{j=1}^{256} [G_o(i,j) - R_o(i,j)]^2} \quad (14)$$

그리고, 비트율로는 다음과 같이 정의되는 엔트로피를 사용하였다.

$$H = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (15)$$

여기에서, P_i 는 양자화 출력값의 발생 확률을 나타낸다.

표 3은 여러가지 피라미드 부호화에 대한 객관적인 성능비교이다. 표 3에서 3차원 예측기(0-2층)와 최하층에서 중앙집중 양자화기($\theta=0.6\delta$)를 사용하여 0.75-1bpp로 부호화한 방법은 기존의 방법에 비교하여 1.6~2.1 dB 정도의 성능 개선이 있다. 또한, 3차원 예측기와 중앙집중 양자화기($\theta=0.7\delta$) 및 최하층의 조건부 전송으로 0.3-0.5 bpp로 부호화시 기존의 방법에 비하여 1.3-2.3 dB 정도의 성능 개선이 있었다.

그림 6은 기존의 방법에 의하여 0.3-0.75bpp의 비트율에서 재생된 영상이다. 여기서, 0.75bpp에서는 비교적 우수한 화질을 보인다. 그러나, 0.5bpp에서 양자화 잡음이 에지부분에서 보이며, 0.3bpp에서 양자화 잡음이 재생영상의 모든 부분에서 심하게 나타난다. 그리고, 그림 7은 제안된 방법에 의하여 0.3-0.75bpp에서 재생된 영상이다. 그림7(a)는 3차원

표 3. 여러가지 비트율에서 기존의 피라미드 부호화 및 제안된 방법의 성능(SNR)
Table 3. Performance(SNR) of the conventional pyramid coding and the proposed one at various bit rates.

	bit rate [bpp]	SNR [dB]
Conventional method	0.3	28.30
	0.5	29.77
	0.75	31.80
	1.0	32.79
Proposed method (using 3-D predictor and center-clipping quantizer)	0.3	29.05
	0.5	31.20
	0.75	33.39
	1.0	34.86
Proposed method (with edge detector)	0.3	29.62
	0.5	32.09

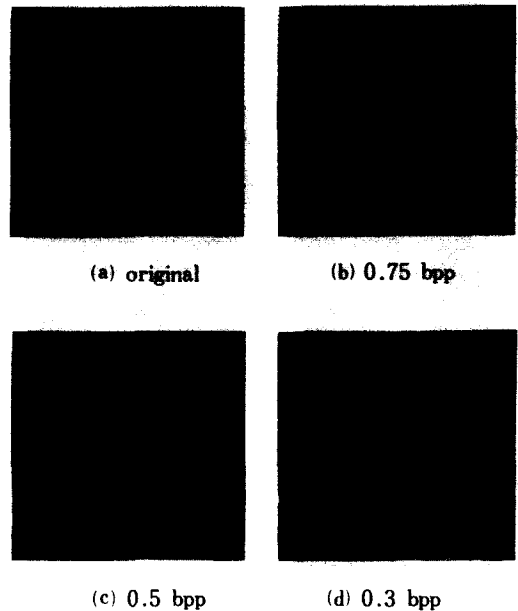


그림 6. 기존의 피라미드 부호화에 의한 재생영상들
Fig. 6. Images reconstructed by the conventional pyramid coding.

예측기와 중앙집중 양자화기($\theta=0.7\delta$)를 적용하여 0.75 bpp에서 재생된 영상으로, 기존의 방법의 결과 그림6(b)에 비교하여 양자화 잡음이 거의 없는 깨끗한 화질을 볼 수 있다. 그리고, 그림7(b)는 3차원

예측기와 중앙집중 양자화기($\theta=0.7\delta$)를 사용하면, 최하층에서 조건부 전송(7000 화소)으로 0.15 bpp 정도를 할당하여 최종비트율 0.5 bpp로 재생된 영상인데, 기존의 방법에 의하여 0.75 bpp에서 재생된 그림6(b)와 비슷한 품질을 보인다. 또한, 그림7(c)는 3차원 예측기를 적용하여 1층까지만 수신된 영상(0.3 bpp)으로 에지부분이 몽롱화된 것이 보이는데, 그림7(d)는 에지선명화($\alpha=0.8$)에 의하여 에지부근의 25000개($T_c=30$) 정도의 화소를 추출하여 몽롱화된 에지를 향상시킨 영상으로, 에지가 선명히 나타나 그림6(d)에 비하여 시각적 품질이 우수하다.

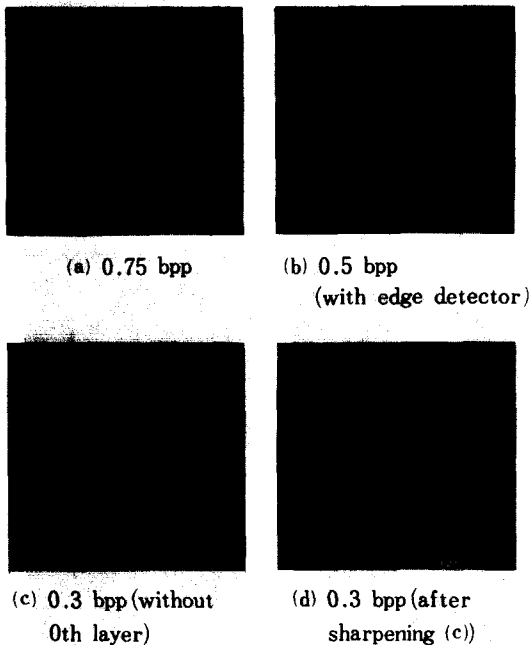


그림 7. 제안된 피라미드 부호화에 의한 재생영상들
Fig. 7. Images reconstructed by the proposed pyramid coding.

V. 결 론

본 논문에서는 피라미드 부호화에서 비교적 간단한 방법을 사용하여 0.3-0.5 bpp 정도의 높은 감축율에서도 양호한 품질의 영상을 얻고자, Laplace 평면구성의 제한 방식에 3차원 예측기와 중앙집중 양자화기를 적용하였고, 최하층의 조건부 전송 방식과 에지 선명화의 후처리과정을 새로이 제안하였다.

먼저, Laplace 평면을 현재층의 Gauss 평면과 수신된 위층의 Gauss 평면과의 차로써 구성하여, 위층

에서 생긴 왜곡이 아래층에서 보상될 수 있도록 하였다. 이와 같이 구성된 Laplace 평면의 하단 3개층에 3차원 예측기를 사용함으로써 분산을 20~30% 정도 감소시켜 에지가 잘 보존된 재생영상을 얻을 수 있었다. 그리고, 최하층에 중앙집중 양자화기를 사용하여 최하층의 비트율을 30% 정도 감소시켰다. 또한, 조건부 전송 방식을 추가로 사용할 경우 최하층의 비트율을 75% 정도 감소시키면서 에지도 보완할 수 있었다. 3차원 예측기와 중앙집중 양자화기를 사용하여 0.5-1 bpp로 부호화시 SNR 면에서 기존의 방법에 비해 약 2 dB 이상의 성능개선이 있으며, 시각적 품질 또한 기존의 방법에 비해 양호한 것을 알 수 있었다. 특히 최하층은 전송하지 않고 에지 선명화 과정으로 재생한 경우, 0.3 bpp 정도의 고감축율에서도 시각적 품질이 비교적 양호한 영상을 얻을 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] A.K. Jain, "Image data compression: a review," *Proc. IEEE*, vol. 69, no. 3, pp. 349-389, Mar. 1981.
- [2] W.H. Chen and C.H. Smith, "Adaptive coding of monochrome and color images," *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-69, no. 11, pp. 1285-1292, Mar. 1981.
- [3] A. Habibi, "Hybrid coding of pictorial data," *IEEE Trans.* vol. COM-22, no. 5, pp. 614-624, May 1974.
- [4] M. Kunt et al., "Second generation image coding technique," *IEEE Proc.*, vol. 73, no. 4, pp. 549-574, Apr. 1985.
- [5] Y. Ysuda, "Progressive coding of still images," *Proc. Int. Workshop on Image Coding*, Seoul Korea, pp. 129-177, Aug. 1987.
- [6] P.J. Burt and E.H. Adelson, "The Laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-31, no. 4, pp. 532-540, Apr. 1983.
- [7] C.H. Chen, "Laplacian pyramid image data compression," *IEEE Proc. ICASSP-87*, vol. 2, pp. 737-739, Apr. 1987.
- [8] T. Anh, et al., "An efficient pyramid coding system," *IEEE Proc. ICASSP-87*, vol. 2, pp. 744-747, Apr. 1987.
- [9] P.J. Burt, "Fast filter transformations for image processing," *Comput. Graphics, Image Processing*, vol. 16, pp. 20-51, 1981.

[10] 김해성, 김남철, 심영석, "에지 정보에 근거한 피라미드 영상부호화," 한국통신학회 춘계 학술발표회 논문집, vol. 6, no. 1, pp. 27-30, 1987년 5월.

[11] W.K. Pratt, *Digital Image Processing*, John Wiley, New York, 1978.

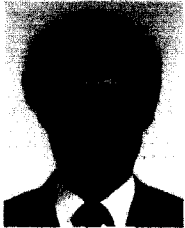
[12] J. Max, "Quantizer for minimum distortion," *IRE Trans. Inform. Theory*, pp. 16-21, Mar. 1960.

[13] P.A. Maragos, "Two-dimentional linear prediction and its application to adaptive predictive coding of images," *IEEE Trans. ASSP.*, vol. ASSP-32, no. 6, pp. 1213-1229, Dec. 1984.

[14] B. Chanda, et al., "Image sharpening incorporating humanvisual response," *Signal Processing* 9, pp. 57-65, 1985.

[15] Sung Hwan Jung and Nam Chul Kim, "A new synthetic high coding using edge sharpening," accepted for publication in *IEE Elect. Lett.*, Aug. 1988. *

著 者 紹 介



金 海 星 (準會員)

1963年 10月 10日生. 1986年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업. 1988年 2月 경북대학교 대학원 전자공학과 석사학위취득. 현재 삼성반도체통신근무. 주관심분야는 디지털통신 및 영상처리 등임.



金 南 哲 (正會員)

1955年 7月 29日生. 1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1980年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사학위 취득. 1984年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사학위 취득. 현재 경북대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 디지털통신, 영상처리 및 컴퓨터 비전등임.