

투영을 이용한 피라미드 영상 부호화

(Pyramid Image Coding Using Projection)

元容光*, 金俊植**, 朴來弘**

(Yong Kwang Won, Joon Seek Kim, and Rae-Hong Park)

要約

본 논문에서는 영상의 투영 데이터를 이용하여 계층적 피라미드를 구성하고 이를 이용하여 점진적으로 영상을 전송하는 부호화기법을 제안하였다. 계층적인 가우스 피라미드를 구성하기 위해서 먼저 원 영상을 4×4 부블럭으로 나누고 각블럭에 대해서 수평, 수직, 대각선, 반대각선의 4 방향 투영 데이터를 구한다. 각 방향 투영데이터를 역투영하여 얻은 단방향 복원값들 중에서 최소 왜곡을 갖는 복원영상이 선택된다. 가우스 피라미드는 제안한 알고리즘을 연속적으로 적용하여 구성할 수 있는데 이 가우스 영상들은 에지정보를 잘 보존한다. 또한 본 논문에서는 투영 개념에 근거한 새로운 최하위 라플라시안 평면 전송 기법을 제안하였다.

컴퓨터 모의실험 결과 투영 개념을 이용한 제안한 피라미드 전송 방법의 정량적 성능은 0.1에서 0.2 bpp 감소된 전송율에서 기존의 방법과 비슷하였으며 투영연산의 에지 보존 특성으로 인하여 주관적 성능은 기존의 방법보다 더 좋았다.

Abstract

In this paper, we propose a progressive image transmission technique using hierarchical pyramid data structure which is constructed based on the projection data of an image. To construct hierarchical Gaussian pyramids, we first divide an image into 4×4 subblocks and generate the projection data of each block along the horizontal, vertical, diagonal, and antidiagonal directions. Among images reconstructed by backprojecting the projection data along a single direction, the one giving the minimum distortion is selected. The Gaussian pyramid is recursively generated by the proposed algorithm and the proposed Gaussian images are shown to preserve edge information well. Also, based on the projection concept a new transmission scheme of the lowest Laplacian plane is presented.

Computer simulation shows that the quantitative performance of the proposed pyramid coding technique using projection concept is similar to those of the conventional methods with transmission rate reduced by 0.1 ~ 0.2 bpp and its subjective performance is shown to be better due to the edge preserving property of a projection operation.

1. 서론

* 準會員, **正會員, 西江大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)
(*본 연구는 한국과학재단의 목적기초 연구비
지원으로 이루어졌음.)

接受日字: 1992年 11月 23日

최근 영상통신 분야의 눈부신 발달에도 불구하고
고화질의 영상을 협대역 채널을 통하여 전송하는 데
는 여러가지 어려움이 따른다. 현재 많은 영상처리

분야에서 디지털 영상을 사용하고 있는데, 이때 제약 조건이 되는 것은 영상을 나타내는데 필요한 반대향의 데이터이다. 만약 8 bpp (bits per pixel)로 양자화된 영상을 기존의 래스터 스캔 (raster scan) 방식으로 전송한다면 송신자는 전송초기상태에서는 영상을 올바르게 인식할 수 없으며, 따라서 수신자와의 대화식 영상전송 (interactive image transmission)은 어렵게 된다. 이러한 문제를 극복하려는 시도로 점진적 영상전송 (progressive image transmission) 기법이 제안되었다. 이 방법은 초기 전송상태에서 가능한 적은 양의 데이터로 개략적인 영상을 전송하고 여러 단계에 걸쳐 전체영상을 전송하여 점진적으로 향상된 고화질의 영상을 얻게 한다.

이러한 점진적 영상전송 기법은 전송할 데이터를 취득하는 영역을 기준으로 공간영역에서의 점진적 영상전송 기법^[1,2], 변환영역에서의 점진적 영상전송 기법^[1,3], 피라미드 구조를 이용한 점진적 영상전송 기법^[1,3,4,5] 등으로 나눌 수 있다. 이 중 피라미드 구조를 이용한 점진적 영상전송 기법은 원영상을 서로 다른 해상도를 갖는 피라미드 계층구조로 재구성하여 각 계층별로 전송하여 점진적 영상전송을 행하는 기법으로 구현의 복잡도에 있어서는 공간영역에서의 점진적 영상전송 기법과 변환영역에서의 점진적 영상전송 기법의 중간정도이지만 성능은 아주 우수하다.^[1]

영상 피라미드를 구성하기 위해서 연속적인 저주파 필터의 적용과 decimation으로 원영상에 비해 축소된 영상을 얻어낸다. 이때 축소된 영상은 원영상보다 적은 수의 화소를 포함하고 있지만 원영상의 중요한 골격을 이루는 정보들을 보존하고 있다. 계속적으로 축소된 영상을 얻어 내면서 동시에 두 피라미드 계층간의 차를 구하여 차영상 (difference image)을 만들어 낸다. Tanimoto와 Pavlidis^[4]가 피라미드 계층구조를 제안한 이후로 피라미드 구조를 이용한 여러가지 부호화 방법들이 제안되었고 이들의 성능 개선을 위한 노력들이 계속되어 왔다.^[5-9]

본 논문에서는 영상의 투영데이터가 에지를 보존하는 성질을 이용하여 가우스 피라미드 구성시 투영을 이용한 영상피라미드 부호화를 제안하였다. 또한 이 방법에서는 피라미드 부호화시 전송 데이터의 50% 이상을 차지하는 라플라시안 피라미드의 최하위 평면 (L₀ 평면)의 투영데이터를 양자화하여 전송하는 방법을 사용하였다. 이 경우 투영데이터는 라플라시안 평면에서의 데이터보다 작은 분산값을 갖게 되어 양자화 효율을 증가시키므로 전송 데이터량을 감소시킬 수 있다.

Ⅱ 절에서는 기존의 피라미드 부호화 기법에 대해서

살펴보고 Ⅲ 절에서는 투영을 이용한 피라미드 부호화의 이론적 배경과 투영데이터를 이용한 가우스 피라미드의 구성 및 라플라시안 평면을 투영, 양자화하여 전송하는 부분에 대해서 다룬다. Ⅳ 절에서는 제안한 방법과 기존 방법의 성능비교를 보이고 Ⅴ 절에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 기존의 피라미드 부호화 방법

피라미드 구조를 만들기 위해서 원영상은 평균이나 저역 필터링을 거쳐 그 크기가 계속적으로 줄어든다. 이렇게 구성된 피라미드를 가우스 피라미드라 부른다. 계속적으로 축소된 영상을 얻어내면서 동시에 두 피라미드 계층 사이의 차영상을 만들어 낸다. 가우스 피라미드 계층구조의 최상위층을 점진적 영상전송의 초기 전송값으로 이용하고 이들 차영상들을 점진적으로 전송함으로써 점점 더 향상된 화질의 영상을 얻을 수 있다. 대표적인 트리구조를 이용한 평균피라미드와 연속적으로 필터를 적용한 Burt와 Adelson의 부호화 기법을 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다.^[1]

1. 트리구조 피라미드

트리구조 피라미드에서는 father라고 불리는 상위층의 현재 화소값이 son이라고 불리는 현재층의 화소로부터 얻어진다. 각 father 노드가 2개의 son 노드와 연결되어 있으면 이 트리구조를 이진트리 (binary tree) 피라미드, 4개의 son 노드와 연결되어 있으면 이 트리구조를 사진트리 (quadtree) 피라미드 구조라고 부르는데, 2차원 영상에 대해서는 2×2 구조를 사용한다. 사진트리 피라미드에서 v 및 (v+1) 번째 계층의 (i, j) 위치의 화소값을 각각 G_v(i, j) 및 G_{v+1}(i, j)라고 하면 사진트리 피라미드는

$$G_{v+1}(i, j) = T(G_v(2i-1, 2j-1), G_v(2i-1, 2j), G_v(2i, 2j-1), G_v(2i, 2j)) \tag{1}$$

로 표현된다. 여기서 T(·)는 축소 규칙을 나타내는 함수로, 화소 평균으로 가정하면 식 (2)로 표현되며,

$$T(a, b, c, d) = \frac{a + b + c + d}{4} \tag{2}$$

2차원 부표분화를 가정하면 식 (3)으로 표현된다.

$$T(a, b, c, d) = x; x = a, b, c, \text{ 혹은 } d. \tag{3}$$

사진트리는 영상의 2차원성을 고려한 자연스러운

형태로, 이진트리를 수평과 수직으로 연속적으로 적용하여 얻을 수도 있다.

2. Burt와 Adelson의 피라미드 부호화

Burt와 Adelson^[6]이 제안한 계층적인 방법은 상위계층 영상을 형성하기 위해서 현재계층 영상에 필터링을 행한다. 이때 필터는 LPF (Low Pass Filter)인데 창틀의 수평, 수직 크기를 각각 $2M + 1, 2N + 1$ 이라고 하면 다음 조건을 만족한다.

조건 1. $w(m, n) = w_h(m)w_v(n)$

조건 2. $\sum_{m=-M}^M w_h(m) = 1, \sum_{n=-N}^N w_v(n) = 1$

조건 3. $w_v(i) = w_v(-i) \text{ for } i = 0, 1, \dots, M$
 $w_h(j) = w_h(-j) \text{ for } j = 0, 1, \dots, N$

조건 1은 필터가 separable 하기 위한 조건이고, 조건 2는 정규화하기 위한 조건이며 조건 3은 대칭성을 만족시키기 위한 조건이다. 예를 들어 M 과 N 이 2인 경우 창틀의 계수는 식 (4)를 만족한다.

$$\begin{aligned} w(0) &= w(0) = a, w(1) = w(1) = a, \\ w(-1) &= w(1) = 1/4, w(-1) = w(1) = 1/4, \\ w(-2) &= w(2) = 1/4 - a/2, \\ w(-2) &= w(2) = 1/4 - a/2 \end{aligned} \tag{4}$$

G_v 를 v 번째 피라미드 계층의 영상이라고 하면 상위계층의 영상 G_{v+1} 은

$$G_{v+1} = REDUCE(G_v) \tag{5}$$

$$G_{v+1}(i, j) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N w(m, n) G_v(2i + m, 2j + n) \tag{6}$$

로 표현된다. 여기서 $w(m, n)$ 은 조건 1, 2, 3을 만족하는 $(2M + 1) \times (2N + 1)$ 크기의 창틀이다.

축소된 영상을 확장시키기 위해서는 축소시 사용했던 필터를 똑같이 사용한다. G_v 를 확장하여 $(v-1)$ 번째 영상과 같은 크기의 확장영상 G_{v+1} 을 만들 수 있으며 G_v 를 k 번 확장한 영상을 $G_{v,k}$ 라고 하면

$$G_{v,k} = EXPAND(G_{v,k-1}) \tag{7}$$

$$G_{v,k}(i, j) = 4 \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N w(m, n) G_{v,k-1}(i + m)/2, (j + n)/2 \tag{8}$$

로 표현된다. 여기서 $(i-m)/2$ 과 $(j-n)/2$ 이 정수인 값들에 대해서만 합해진다. 라플라시안 피라미드는 연속되는 두 가우스 영상 사이의 오차 영상으로 구성된다. G_0 를 원영상이라고 하고 $G_{1,1}$ 을 G_0 에 식 (4)에서 정의된 저역필터를 사용하여 얻은 결과라고 하면 예측오차 L_0 는 식 (9)과 같이 주어진다.

$$L_0 = G_0 - EXPAND(G_1) = G_0 - G_{1,1} \tag{9}$$

피라미드 부호화에서는 G_0 를 전송하기 보다는 L_0 과 G_1 을 전송한다. 이때 L_0 는 G_0 보다 분산값이 아주 작기 때문에 G_0 보다 매우 적은 비트로 표현될 수 있으며, G_1 은 저역 통과필터를 거쳐 감소된 표본율 (sampling rate)로 전송될 수 있으므로 이 두 신호를 보냄으로써 데이터 압축 효과를 얻을 수 있다. 축소영상 G_1 은 저역 통과필터를 통과한 후 G_2 가 되며 이로부터 두번째 오차 영상 L_1 이 얻어진다. 이를 식으로 표현하면 식 (10)과 같다.

$$L_1 = G_1 - EXPAND(G_2) = G_1 - G_{2,1} \tag{10}$$

이런 과정을 여러번 반복하여 2차원 영상 L_0, L_1, \dots, L_M 을 순차적으로 얻어낸다. 이렇게 얻은 차영상은 화질 향상에서 일반적으로 사용하는 라플라스 연산자를 통과한 영상과 유사하게 되는데, 이러한 이유 때문에 이 피라미드를 라플라스 피라미드 (Laplacian pyramid)라고 부른다.

3. 피라미드 구조에 근거한 영상데이터의 점진적 전송

피라미드 계층구조는 점진적 영상전송에 적합한 구조이다. 피라미드 구조를 점진적으로 전송하기 위해서 가우스 평면의 최상위층을 초기전송하여 개략적인 영상을 얻고 라플라시안 평면을 점진적으로 전송함으로써 점차 향상된 화질을 얻는다. 5층으로 구성된 피라미드 영상부호화의 블록도를 그림 1에 보였다.^[6] 전송시 G_4 평면은 PCM (Pulse Coded Modulation) 등으로 부호화하여 전송하고 라플라스 피라미드는 균일 양자기등을 사용하여 전송한다. 이때 해상도가 낮은 층일수록 영상의 큰 변화 정보를 많이 포함하고 있으므로 양자화 간격을 작게 하고 해상도가 높은 층일수록 양자화 간격을 크게 한다. 라플라스 피라미드 각 층에 대한 균일 양자화기의 구성은 식 (11)과 같다.^[6]

$$C(i, j) = p \cdot q, \text{ if } (p-1/2)q < L(i, j) \leq (p+1/2)q \tag{11}$$

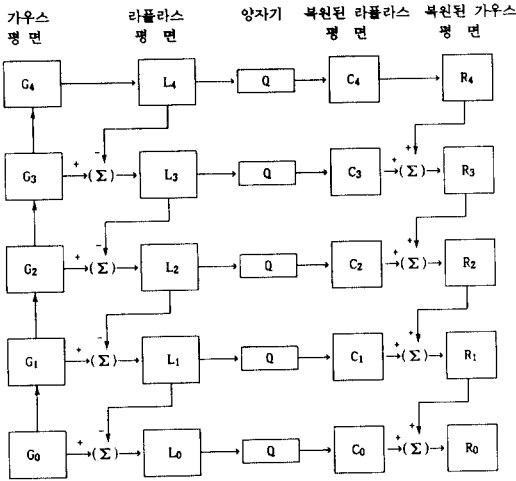


그림 1. 기존의 피라미드 부호화 블록도

Fig. 1. Blockdiagram of the conventional pyramid coding.

여기서 C_v 는 v 번째 라플라시안 평면 L_v 가 양자화된 평면을 나타내고, p 와 q 는 각각 양자화 레벨 및 양자화간격을 나타낸다.

그림에서 G_4 영상을 점진적 영상전송 단계의 초기 값으로 전송하여 초기복원영상 R_4 를 얻는다. 이 경우 R_4 영상은 적은 수의 화소를 포함하고 있으므로 원영상의 개략적인 형태만을 포함하고 있다. 다음 L_3 를 전송하여 전단계에서 복원한 영상 R_4 를 확대한 후 더 하여 복원영상 R_3 을 얻어낸다. R_3 은 R_4 보다 좀더 향상된 화질을 갖는다. 이런 과정을 반복하여 최종 복원영상 R_0 을 얻어낸다.

III. 투영을 이용한 제안한 피라미드 영상 부호화

투영 (projection)을 이용한 영상처리 개념^[10-12]은 의용 영상처리 등에서 많이 사용되는 개념이다. 단층 촬영 영상과 같은 경우 1차원 투영 데이터만으로 2차원 단면 영상정보를 얻어낸다. 이때 1차원 투영데이터를 영상부호화에 적용시킬 경우 투영방향의 수를 제한한다면 전송데이터를 감축시킬 수 있다.

본 절에서는 투영을 이용한 제안한 피라미드의 점진적 영상전송 기법에 대해 다룬다. 먼저 영상의 투영개념을 살펴보고 이로부터 가우스 피라미드를 구성하는 방법 및 전송비트율을 줄이기 위해 투영 개념을 사용한 L_0 평면의 부호화 기법에 대해 다룬다.

1. 영상의 투영 및 복원

영상을 2차원 공간 함수 $f(x, y)$ 로 나타낼 때 투영

의 개념을 그림 2에 보였다. 여기서 영상을 지나선 t 를 투영선 (projection ray)이라 하고 투영선상의 함수 $f(x, y)$ 의 적분을 투영선적분 (projection line integral)이라 부른다. 투영선 t 와 원점으로부터 공간상의 좌표 (x, y) 에 그은 선분과 이루는 각도를 θ 라고 하면 투영선 $t = t_1$ 은 식 (12)를 만족하고 함수 $f(x, y)$ 의 투영선 t 에 대한 투영선적분은 식 (13)과 같다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = t_1 \tag{12}$$

$$p\theta(t_1) = \int_{\text{ray}(t)} f(x, y) ds = \iint f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - t_1) dx dy \tag{13}$$

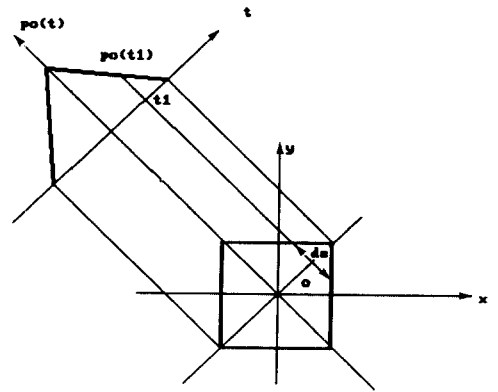


그림 2. 영상의 투영

Fig. 2. Projection of an image.

여기서 $P(t_1)$ 를 각도 θ 에 대한 투영이라고 정의한다. 디지털 영상데이터의 경우 식 (13)은 f 를 $f(x, y)$ 의 디지털 영상의 i 번째 화소값이라고 하면 식 (14)와 같이 투영합 (projection sum)으로 표현된다. 이를 다시 벡터형태로 나타내면 식 (15)과 같다.

$$P_i = \sum_{j=1}^J w_{ij} f_j, \quad i = 1, 2, \dots, I \tag{14}$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{F} \tag{15}$$

여기서 J 는 투영하려는 총 화소수를 나타내고 I 는 투영선의 갯수이다. \mathbf{P} 는 P_i ($i = 1, 2, \dots, I$)로 구성된 1차원 벡터이고, \mathbf{W} 는 weight를 나타내는 2차원 벡터이고, \mathbf{F} 는 영상을 나타내는 1차원 벡터이다.

투영의 역과정으로서, 1차원 투영데이터로부터 2차원 영상을 복원하기 위해서는 선형방정식을 풀어야

한다. 이것은 2차원 영상의 투영데이터의 역행렬을 계산하여 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 영상의 크기가 증가할수록 역행렬 계산량이 많아지므로 일반적으로는 반복 계산법^[12] (iteration method)으로 구한다. 반복 계산법은 반복단계의 이전 복원값에 보정항을 더함으로써 현단계의 복원값을 얻는다. 이때 보정항은 원영상의 투영값과 이전단계의 복원영상의 투영값 사이의 차를 이용한다. 이로써 각 방향의 투영데이터에 정합되는 2차원 영상분포를 구한다. 초기값으로는 0이 이용되거나 평균값이 이용된다. 그러나 이 방법은 투영방향의 수가 증가함에 따라 계산량이 크게 증가한다. 따라서 본 논문에서는 한가지 투영방향에 대해서 한가지 복원영상을 얻어내는 단방향 복원기법을 이용하였다. 이 경우 최종복원 영상은 블럭별로 각 투영방향의 단방향 복원영상 중에서 최소왜곡을 갖는 블럭을 선택하여 구성하면 된다. 이 경우 한 블럭 내에 여러 방향의 에지 성분이 존재하는 경우를 생각할 수 있으나 본 논문에서 사용하는 4×4 블럭에서는 이런 효과는 무시할 수 있다고 가정하였다.

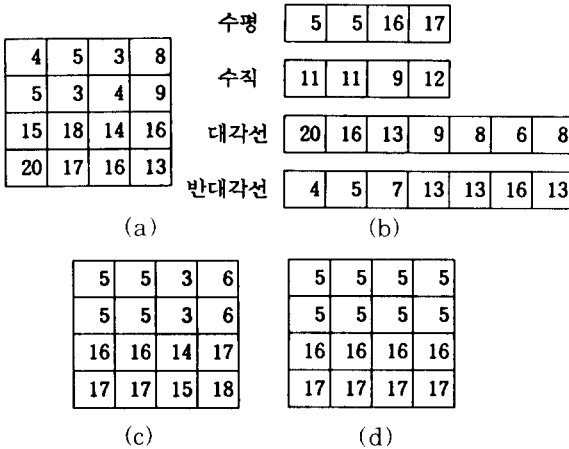


그림 3. 투영데이터 및 복원

- (a) 원영상
- (b) 각방향 투영데이터
- (c) 수평방향 단방향 복원영상
- (d) 수평과 수직 투영데이터로부터 복원한 영상

Fig. 3. Projection data and reconstruction based on them.

- (a) Original image.
- (b) Projection data for each direction.
- (c) Reconstructed image from the projection data along the horizontal direction.
- (d) Reconstructed image from the projection data along the horizontal and vertical directions.

L_0 라플라시안 평면을 투영하여 전송시는 수평, 수직 두방향의 투영값만을 이용하여 전송 데이터를 줄이고 계산량을 감소시키는 방법을 이용하였다. 이때 반복 계산법을 이용하면 복원영상은 두번만에 수렴한다. 그림 3에 수평방향의 에지를 포함하는 4×4 블럭과 이의 수평, 수직, 대각선, 반대각선 방향의 투영데이터 및 수평투영데이터에 의한 단방향 복원영상, 수평과 수직 투영데이터만으로 복원한 영상을 보였다. 투영 및 역투영 연산시 실수 데이터를 정수으로 바꿀 때 반올림 연산을 이용하였다. 투영시 기준점은 수평, 수직, 반대각선 투영의 경우는 좌측 상단으로 정하였고 대각선 투영의 경우는 좌측하단으로 정하였다. 그림 3(c)를 보면 수평방향의 투영데이터만으로 단방향 복원을 한 경우 수평 방향의 에지를 잘 보존하고 있음을 볼 수 있다. 그림 3(d)를 보면 수평과 수직 투영데이터만으로도 에지성분이 보존되는 복원영상을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 이 경우 전송해야 할 데이터량은 반으로 감소한다.

2. 투영을 이용한 가우스 피라미드의 구성

투영데이터로부터 피라미드 계층구조를 구성하기 위해 먼저 원영상을 4×4의 부블럭으로 나누고 그 블럭에 대하여 행, 열, 대각선, 반대각선의 4 방향 투영을 구한다. 각 투영 데이터로부터 역투영을 행하여 복원 영상을 구하고 원영상과 복원영상들간 왜곡이 최소인 투영 방향의 복원영상을 택하여 이를 부표본화하여 원영상에 대하여 축소된 영상을 얻어낸다. 이 경우 축소된 영상은 원영상의 수평, 수직, 대각선, 반대각선의 에지성분을 잘 보존한다. 이 때 투영방향의 수를 증가시키는 방법도 생각해 보았으나 이에 따른 성능 개선이 뚜렷하지 않아 본 논문에서는 4 방향의 투영데이터에 대해서만 고려하였다. 또한 부블럭 크기를 증가시킬 경우 전송데이터의 감소를 가져올 수 있고 잡음을 평활화시키는 효과를 나타내지만 블럭효과가 심하게 발생하므로 본 논문에서는 4×4 부블럭에 대해서만 고려하였다.

v 번째 계층의 영상을 G_v 라 하면 이로부터 축소영상을 얻는 과정을 그림 4에 보였다. G_v 의 4×4 부블럭을 G'_v 라고 하면 투영데이터 벡터 P_i ($i = 0, 1, 2, 3$)는 식 (16)으로 나타낼 수 있다. 인덱스 0, 1, 2, 3은 각각 수평, 수직, 대각선, 반대각선 방향을 나타내며 PROJECTION _{i} 는 각 방향의 투영연산의 의미한다.

$$P_i = PROJECTION_i(G'_v), i = 0, 1, 2, 3. \tag{16}$$

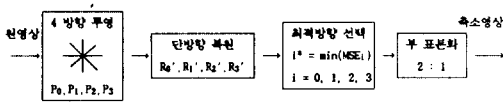


그림 4. 투영을 이용한 영상 축소과정
Fig. 4. Image reduction using projection.

투영데이터로부터 역투영에 의해서 복원영상을 구할 수 있는데 각 방향의 투영데이터에 의한 단방향 복원영상을 R_i 라고 하면 R_i 는 식 (17)로부터 구할 수 있다.

$$R_i \Leftarrow \text{BACKPROJECTION}(P_i), i = 0, 1, 2, 3 \quad (17)$$

여기서 BACKPROJECTION은 각 방향의 역투영 연산을 의미하는데 이는 앞서 설명한 단방향 복원과 같다. 역투영 연산의 한 예를 그림 3에 보였다. 이렇게 구한 부분력의 복원 영상을 원영상과 비교해서 왜곡이 가장 작은 투영방향을 선택하게 된다. 이 경우 4×4 블록의 왜곡 판단의 척도는 식 (18)로 주어지는 MSE (Mean Square Error)를 이용하였다.

$$MSE_i = \frac{1}{16^2} \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 (G'(m,n) - R_i(m,n))^2, i = 0, 1, 2, 3. \quad (18)$$

여기서 G' 은 가우스 영상, R_i 는 단방향 복원영상, MSE_i는 각 방향의 복원영상과 원영상과의 왜곡값이다.

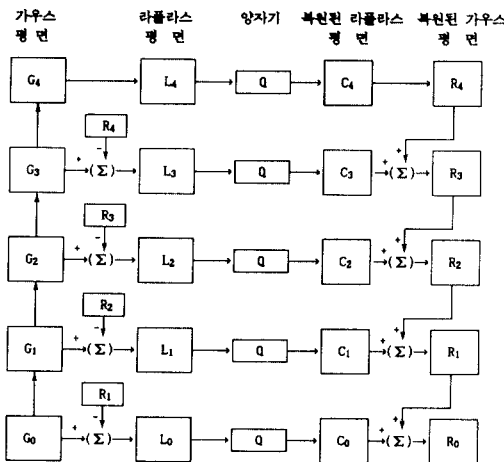


그림 5. 실험에 사용된 피라미드 전송 블록도
Fig. 5. Blockdiagram of the pyramid coding used in experiments.

최소 왜곡을 갖는 투영방향은 MSE가 최소가 되는 방향이 된다. 최소 왜곡을 갖는 투영방향이 선택되면 복원영상을 식 (3)으로 표현되는 부표본화 연산을 이용하여 축소영상을 얻는다. 이 경우 2×2 블록에서 표본화되는 화소는 좌측 상단화소로 하였다.

가우스 피라미드가 구성되면 라플라시안 피라미드는 앞서 살펴본 Burt와 Adelson의 방법에서와 같이 구성할 수 있다. 다만 라플라시안 피라미드 구성시 수신단에서 양자화 오차가 누적되는 것을 막기 위해서 송신단에서 수신단의 양자화 오차까지 고려하여 계획적으로 라플라시안 피라미드를 구성하였다.^[9] 이렇게 형성된 피라미드 구성 블록도를 그림 5에 보였다. 제안한 방법에서 보간시는 1차 보간을 사용하였다.

3. L_0 평면의 투영데이터 부호화

피라미드 계층구조가 구성되면 점진적으로 영상을 전송하기 위해서 먼저 가우스 피라미드의 최상위단을 전송하고 이어서 점진적으로 라플라시안 피라미드 평면을 전송한다. 이 경우 마지막으로 전송되는 L_0 평면은 크기가 원영상과 같으므로 피라미드 계층구조를 전송할 때 전체 전송데이터의 약 50% 이상을 차지하며 이를 전송하는 데는 약 0.3 bpp에서 0.4 bpp 이상의 전송 비트율이 필요하다. 본 논문에서는 L_0 평면을 기존의 방법처럼 양자화하여 전송하지 않고 투영값을 양자화하여 전송하는 방법을 제안하였다. 제안한 라플라시안 평면 (L_0 평면)의 부/복호화 블록도를 그림 6에 보였다. 그림에서 L_0 평면을 투영하여 전송하기 위해서 먼저 L_0 평면을 수평, 수직 방향으로 투영하고 투영데이터를 양자화한다. 이 때 투영데이터는 라플라시안 평면보다 분산값이 작아지게 되어 엔트로피 값이 작아지게 되고 따라서 양자화 효율이 증가하게 되어 전송비트율을 감소시킬 수 있다. 이 경우 투영연산을 dead zone 효과와 비교할 수 있으나 실험결과 제안한 방법이 같은 비트율에서 dead zone 효과보다 0.5에서 1.0 dB 우수한 성능을 보였다. 또한 수평, 수직의 2방향 투영데이터만 전송하므로 4×4 부분력을 고려하면 전송데이터는 L_0 평면의 데이터의 1/2로 감소한다. 수신단에서는 전송된 투영데이터를 역투영하여 복원된 L_0 평면을 얻는다. L_0 평면 이외의 라플라시안 평면에 대해서도 투영데이터를 양자화하여 전송하는 방법을 고려해 보았으나 효과가 뚜렷하지 않고 다른 계층의 전송량은 L_0 평면의 전송량보다 훨씬 작기 때문에 본 논문에서는 L_0 평면에 대해서만 투영값을 양자화하여 전송하였다.

IV. 실험결과 및 토의

본 절에서는 투영을 이용한 제안한 계층적 피라미드에 근거한 점진적 영상전송 기법의 성능분석을 위해 컴퓨터 모의실험결과를 보였다. 실험에는 8 비트로 양자화된 256×256 크기의 GIRL 영상과 COUPLE 영상, 그리고 비교적 간단한 영상인 HOUSE 영상을 사용하였다. GIRL 영상, COUPLE 영상, HOUSE 영상의 평균값은 각각 74, 41, 137 이고 분산은 각각 1816, 1222, 2111이다. 성능비교를 위해서 기존의 피라미드 기법중 대표적인 평균 피라미드와 Burt와 Adelson이 제안한 피라미드 부호화 방법을 함께 실험하였다. 피라미드 구성은 세방법 모두 그림 5에 보인 블럭도를 이용하였다. 평균피라미드에서 보간시 0차 보간을 이용하였고 Burt와 Adelson이 제안한 방법에서 저역 통과 필터의 창틀 크기는 5×5를 사용하였으며 식 (4)에서의 a 값은 복원영상의 화질이 가장 좋도록 선택하였는데 GIRL 영상의 경우 0.5를, HOUSE 영상과 COUPLE 영상의 경우 0.6을 사용하였다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위한 객관적인 척도로서 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였으며 주관적인 평가도 병행하였다. 8 비트로 양자화된 K×L 크기 영상의 PSNR은 식 (19)로 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{KL} \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} (G_0(i, j) - R_0(i, j))^2} \quad (19)$$

여기서 $G_0(\cdot)$ 는 원영상을 나타내고 $R_0(\cdot)$ 는 복원영상을 나타낸다. 또한 전송비트율 (bit rate)로는 식 (20)으로 정의되는 엔트로피를 이용하였다.

$$H = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i \quad (20)$$

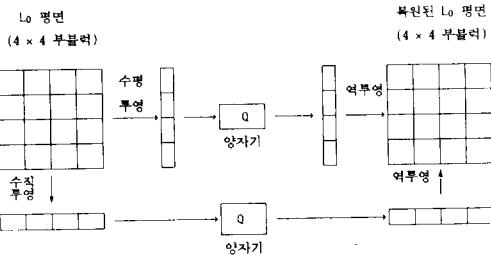


그림 6. L_0 라플라스 평면의 투영데이터에 의한 부/복호화

Fig. 6. Reconstruction of the L_0 Laplacian plane based on the projection data.

여기서 p_i 는 양자화 출력값의 발생확률이다.

투영을 이용한 피라미드의 성질을 살펴보기 위하여 HOUSE 영상의 수평, 수직, 대각선, 반대각선 투영 데이터의 단방향 복원영상을 부표본화하여 구성한 영상을 다시 확장한 그림을 그림 7에 보였으며 그림 8에 단방향 복원영상중 원영상과 비교하여 최소왜곡이 되는 부블럭을 선택하여 구한 제안한 방법의 G_1 평면, Burt와 Adelson이 제안한 방법의 G_1 평면을 확대한 그림 및 16배한 오차영상을 보였다. 그림 7에서 보면 각 영상들은 부표본화에 의한 aliasing 효과에도 불구하고 각 투영방향에 따른 에지 성분을 보존하고 있음을 볼 수 있다. 즉 수직 방향의 투영데이터만을 사용하여 복원한 영상은 수직 방향의 에지성분은 잘 보존하고 있는 반면 다른 방향의 에지 성분에 대해서는 블럭 효과 (blocky effect)가 발생하고 있음을 볼 수 있다. 그림에서 HOUSE 영상은 수직 성분의 에지와 반대각선 성분의 에지가 많이 존재함을 알 수 있다.

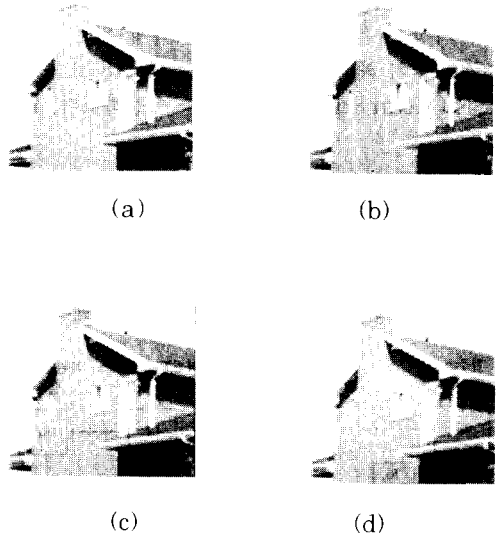


그림 7. 투영방향에 따른 단방향 복원영상

- (a) 수평 (PSNR : 28.23 dB)
- (b) 수직 (PSNR : 27.63 dB)
- (c) 대각선 (PSNR : 28.44 dB)
- (d) 반대각선 (PSNR : 29.23 dB)

Fig. 7. Reconstructed images based on the projection data along a single direction.

- (a) Horizontal (PSNR : 28.23 dB).
- (b) Vertical (PSNR : 27.63 dB).
- (c) Diagonal (PSNR : 28.44 dB).
- (d) Antidiagonal (PSNR : 29.23 dB).

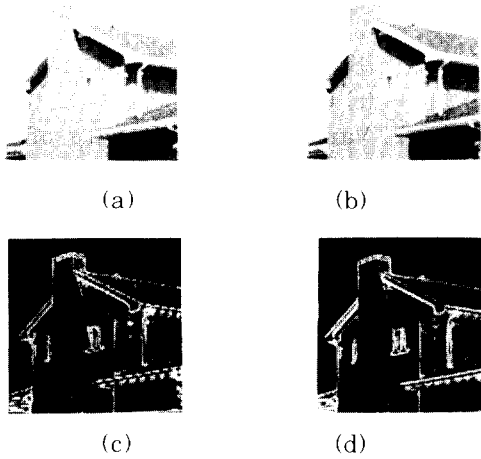


그림 8. HOUSE 영상의 확대한 G_1 평면 및 오차 영상
 (a) 제안한 방법 (PSNR : 31.70 dB)
 (b) Burt와 Adelson이 제안한 방법 (PSNR : 32.27 dB)
 (c) (a)의 오차영상
 (d) (b)의 오차영상

Fig. 8. Expanded G_1 planes and difference images of the HOUSE image.
 (a) Proposed method (PSNR : 31.27 dB)
 (b) Proposed method by Burt and Adelson (PSNR : 32.27 dB),
 (c) Difference image of (a).
 (d) Difference image of (b).

그림 8을 보면 제안한 방법과 Burt와 Adelson이 제안한 방법의 정량적 성능은 비슷하지만 제안한 방법에서 기둥이나 창문 같은 에지 부분에서 몽롱화(blurring)가 기존의 방법보다 더 적으며 오차영상을 보면 제안한 방법의 오차부분이 기존의 방법의 오차보다 상대적으로 적음을 볼 수 있는데 이는 특히 HOUSE 영상의 기둥과 같은 에지부분에서 뚜렷하게 나타난다. 예로 차영상의 크기가 2를 넘는 오차점의 개수를 살펴보면 제안한 방법이 31092 개, Burt와 Adelson이 제안한 방법이 31998 개로 제안한 방법이 기존의 방법보다 906 화소 적다.

피라미드 구성시 6층 이상의 영상이 실제 화질에 미치는 영향이 작기 때문에 본 논문에서는 5층까지만 구성하였다. 이를 전송할 때 가우스 피라미드의 제 5층은 PCM 부호화하여 초기전송하고 라플라시안 피라미드를 점진적으로 전송함으로써 점진적 영상전송

시스템을 구축하였다. 라플라시안 평면 전송시 각 층을 균일 양자화하여 전송하는데 이때 양자화 레벨의 개수는 라플라시안 평면의 분산값에 따라서 배정하는데 L_3, L_2, L_1, L_0 층에 대하여 각각 31, 15, 3, 3개가 적당하다.^[9] 양자화 간격은 균일 Max 양자화기^[13]에 대한 간격들을 초기치로 하여, 전송비트율 및 영상의 화질을 고려하여 다소 수정하여 선택하였다.

표 1. 라플라스 평면의 균일 양자화 레벨수 및 간격
 (a) GIRL 영상
 (b) HOUSE 영상
 (c) COUPLE 영상

Table 1. Number of levels and step sizes of a uniform quantizer for the Laplacian planes.
 (a) GIRL image.
 (b) HOUSE image.
 (c) COUPLE image.

평면	양자화 레벨수	양자화 간격		
		Burt와 Adelson	평균	제안한 방법
L_0	3	27	32	28
L_1	7	17	20	20
L_2	15	12	14	16
L_3	31	3	3	3

(a)

평면	양자화 레벨수	양자화 간격		
		Burt와 Adelson	평균	제안한 방법
L_0	3	28	34	25
L_1	7	19	21	19
L_2	15	12	11	13
L_3	31	3	3	3

(b)

평면	양자화 레벨수	양자화 간격		
		Burt와 Adelson	평균	제안한 방법
L_0	3	28	32	28
L_1	7	18	19	21
L_2	11	11	12	15
L_3	31	3	3	3

(c)

성능을 비교하기 위하여 전송비트율을 같게 양자화하고 각 전송단계에서 같은 비트율하에서 PSNR값을 구하였다. 이경우 양자화 간격의 오차를 고려하여 비트율을 편의상 소숫점이하 1자리까지 맞추도록 하였

다. 각영상의 라플라시안 피라미드 각 계층에 대한 양자화 레벨과 간격을 표 1에 보였다. 실험결과에서 Burt와 Adelson은 Burt와 Adelson이 제안한 방법에 대한 실험결과이고 평균은 평균 피라미드에 대한 실험결과이고 제안한 방법은 투영을 이용한 피라미드에 의한 실험결과이다. 양자화 효율은 라플라시안 평면의 분산과 밀접한 관계가 있다. 라플라시안 피라미드 각 계층의 분산과 식 (20)으로부터 구한 엔트로피에 의한 비트율을 표 2에 보였다. 제안한 방법의 분산은 L_0 평면에서는 Burt와 Adelson이 제안한 방법과 비슷하고 평균 피라미드를 이용한 방법보다는 작다. 층수가 증가하면서 제안한 방법의 분산이 기존의 방법보다 증가하지만 상위 계층의 영상이 실제 전송량에 미치는 영향을 고려하면 제안한 방법의 전체 전송 비트율은 두 방법의 중간이다.

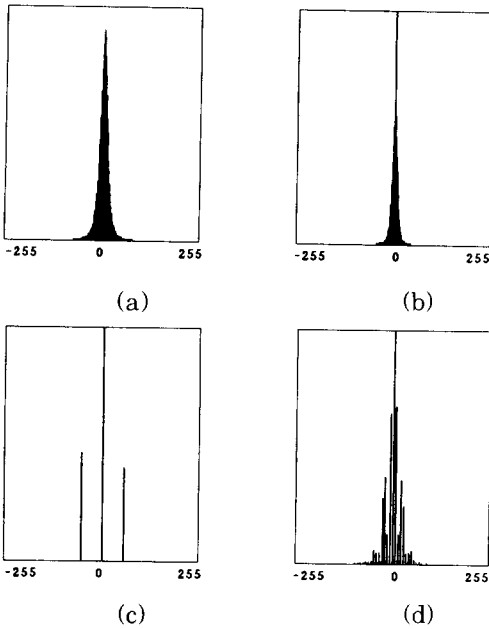


그림 9. L_0 라플라스 평면의 히스토그램

- (a) L_0 평면 (분산 : 50.77)
- (b) 투영데이터 (분산 : 27.87)
- (c) 양자화된 L_0 평면
- (d) 양자화된 투영데이터로부터 복원한 L_0 평면

Fig.9. Histogram of the L_0 Laplacian plane.

- (a) L_0 plane (variance : 50.77),
- (b) Projection data (variance : 27.87),
- (c) L_0 plane quantized to 3 levels,
- (d) L_0 plane reconstructed by the quantized projection data.

표 2. 라플라시안 평면의 분산 및 전송비트율
(a) GIRL 영상
(b) HOUSE 영상
(c) COUPLE 영상

Table 2. Variance and bit rate of the quantized Laplacian planes.

- (a) GIRL image,
- (b) HOUSE image,
- (c) COUPLE image.

평면	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)
L_0	49.26	0.403	66.98	0.407	50.77	0.410
L_1	79.30	0.250	113.98	0.261	122.10	0.263
L_2	142.42	0.111	183.07	0.110	226.64	0.112
L_3	182.95	0.062	220.32	0.064	443.62	0.065

(a)

평면	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)
L_0	37.59	0.358	54.28	0.358	36.46	0.360
L_1	83.18	0.218	113.05	0.218	112.15	0.218
L_2	187.65	0.104	164.30	0.102	264.11	0.102
L_3	198.26	0.054	211.97	0.053	331.25	0.054

(b)

평면	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)	분산	비트율(bpp)
L_0	60.84	0.435	78.49	0.437	65.55	0.439
L_1	76.02	0.243	99.42	0.265	142.50	0.260
L_2	98.06	0.108	132.23	0.111	235.25	0.112
L_3	120.60	0.058	155.65	0.059	317.91	0.064

(c)

그림 9에 GIRL 영상의 라플라시안 평면 (L_0 평면)에 대한 히스토그램 분포도와 분산값을 보였다. L_0 평면의 투영데이터는 원래 L_0 평면보다 0 (zero) 값에 근접한 히스토그램 분포값을 가지며 분산값도 훨씬 작음을 볼 수 있다. 따라서 같은 레벨로 양자화 시 엔트로피가 기존의 방법보다 더 작아지고 따라서 투영데이터의 양자화 효율이 좋으며 또한 4×4 부블럭에 대해서 수평, 수직의 2방향 투영만을 고려하면 실제 전송데이터는 L_0 평면을 직접 양자화하여 전송할 때와 비교하여 1/2로 감소된다. 양자화된 L_0 평면에 대해서도 기존의 3 레벨 양자화보다 투영데이터를 양자화한 다음 역투영하여 복원한 평면의 히스토그램 값이 양자화하기 전의 L_0 평면의 히스토그램에 근접함을 볼 수 있다.

표 4에 라플라시안 평면을 투영양자화하여 전송한 경우의 전송비트율과 성능을 보였다. 투영데이터를 양자화시 양자화 레벨수는 7로 하였고 양자화 간격을 조정하면서 성능변화를 살펴보았다.

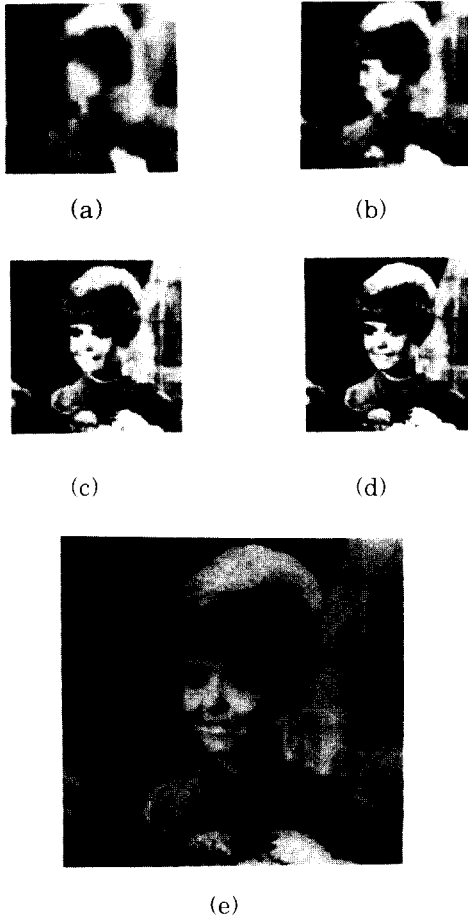


그림 10. GIRL 영상의 전송단계에 따른 복원영상

- (a) G_4
- (b) G_4, L_3
- (c) G_4, L_3, L_2
- (d) G_4, L_3, L_2, L_1
- (e) G_4, L_3, L_2, L_1, L_0

Fig 10. Reconstructed GIRL images according to the transmission stage.

- (a) G_4 ,
- (b) G_4 and L_3 ,
- (c) G_4, L_3 , and L_2 ,
- (d) G_4, L_3, L_2 , and L_1 ,
- (e) G_4, L_3, L_2, L_1 , and L_0 .

점진적 영상전송 단계에 따른 기존의 방법과 투영을 이용한 제안한 피라미드에 근거한 점진적 영상전송 기법의 성능비교를 표 3에 보였다. 성능은 앞서 정의한 PSNR을 사용하였다. 표에서 보면 제안한 방

법의 성능은 초기 전송단계에서는 기존의 방법보다 떨어지지만 전송단계가 증가할수록 제안한 방법의 성능이 점차 좋아짐을 볼 수 있다. 특히 최종영상에서 제안한 방법의 성능은 영상에 따라서 0.1에서 0.2bpp 이상 감소된 전송율에서 Burt와 Adelson이 제안한 방법과 비슷하고 평균피라미드 기법보다는 1dB이상 우수하다.

표 3. L_0 평면의 투영데이터의 양자화(양자화 레벨수 = 7)

- (a) GIRL 영상
- (b) HOUSE 영상
- (c) COUPLE 영상

Table 3. Quantization of the projection data of the L_0 plane. (number of quantization levels = 7)

- (a) GIRL image,
- (b) HOUSE image,
- (c) COUPLE image.

양자화 간격	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
11	33.06	0.420
12	32.86	0.401
14	32.61	0.314
15	32.29	0.286
17	32.06	0.220

(a)

양자화 간격	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
12	34.70	0.335
15	34.40	0.235
17	34.22	0.196
20	34.04	0.155
23	33.78	0.123

(b)

양자화 간격	PSNR (dB)	비트율 (bpp)
12	33.53	0.406
14	33.11	0.323
17	32.48	0.237
20	32.24	0.177
23	32.03	0.136

(c)

표 4. 각 영상전송 단계에 따른 성능 비교

- (a) GIRL 영상
- (b) HOUSE 영상
- (c) COUPLE 영상

Table 4. Performance comparison at each transmission stage.

- (a) GIRL image.
- (b) HOUSE image.
- (c) COUPLE image.

전송단계	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)
G ₄	19.90	0.031	20.43	0.031	19.67	0.031
G ₄ +L ₃	22.76	0.093	22.88	0.095	22.36	0.096
G ₄ +L ₃ +L ₂	26.51	0.204	25.84	0.205	26.20	0.208
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁	30.37	0.454	29.26	0.466	30.07	0.471
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁ +L ₀	32.53	0.857	31.47	0.873	32.61	0.785

(a)

전송단계	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)
G ₄	20.38	0.031	20.69	0.031	19.83	0.031
G ₄ +L ₃	22.67	0.085	23.10	0.084	22.29	0.085
G ₄ +L ₃ +L ₂	26.53	0.189	26.04	0.186	26.59	0.187
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁	31.23	0.407	29.98	0.404	30.85	0.405
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁ +L ₀	34.03	0.785	33.37	0.762	34.04	0.558

(b)

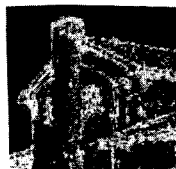
전송단계	Burt와 Adelson		평균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)	PSNR (dB)	누적 비트율 (bpp)
G ₄	21.33	0.031	21.76	0.031	20.51	0.031
G ₄ +L ₃	23.50	0.089	23.66	0.090	22.84	0.095
G ₄ +L ₃ +L ₂	26.39	0.197	26.17	0.201	25.86	0.207
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁	39.29	0.440	29.20	0.466	30.02	0.467
G ₄ +L ₃ +L ₂ +L ₁ +L ₀	32.83	0.875	32.00	0.903	32.48	0.704

(c)

제안한 방법은 투영데이터의 에지 보존 효과로 인해 복원영상의 주관적인 화질은 기존의 두 방법보다 우수함을 확인할 수 있었다.



(a)



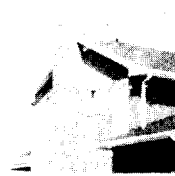
(b)



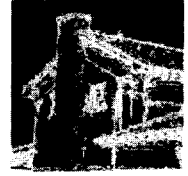
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 11. HOUSE 영상의 복원영상 및 오차영상

- (a) 복원영상(제안한 방법)
- (b) (a)의 오차영상(제안한 방법)
- (c) 복원영상(Burt와 Adelson)
- (d) (c)의 오차영상(Burt와 Adelson)
- (e) 복원영상(평균)
- (f) (e)의 오차영상(평균)

Fig 11. Reconstructed and difference images of the House image.

- (a) Reconstructed image (proposed).
- (b) Difference image of (a) (proposed).
- (c) Reconstructed image (Burt and Adelson).
- (d) Difference image of (c)(Burt and Adelson).
- (e) Reconstructed image (mean).
- (f) Difference image of (e) (mean).

HOUSE 영상은 특히 수평, 수직, 대각선, 반대각선 에지성분이 많이 존재하기 때문에 각 에지 성분에서 블록효과가 기존의 방법보다 감소함을 확인할 수 있었다. GIRL 영상의 전송단계에 따른 제안한 방법의 실제 영상을 그림 10에 보였는데 전송단계에 따라

영상의 화질이 점차적으로 향상됨을 확인할 수 있다. 그림 11에는 제안한 방법과 기존의 방법과의 주관적 성능비교를 보이기 위하여 HOUSE 영상의 제안한 방법과 기존의 방법의 최종전송영상 및 16배한 오차 영상을 함께 보였다. 그림에서 보면 제안한 방법의 화질이 평탄한 부분뿐만 아니라 HOUSE 영상의 기둥과 같은 에지 부분에서도 Burt와 Adelson이 제안한 방법이나 평균피라미드를 이용한 방법보다 우수함을 볼 수 있다. 이는 오차영상을 살펴보면 더 뚜렷한 데 제안한 방법의 에지를 포함하는 오차부분이 기존의 방법의 에지를 포함하는 오차부분보다 상대적으로 적다.

표 5. 잡음영상에 대한 성능비교

- (a) GIRL 영상
- (b) HOUSE 영상
- (c) COUPLE 영상

Table 5. Performance comparison for noisy images.

- (a) GIRL image.
- (b) HOUSE image.
- (c) COUPLE image.

σ	Burt와 Adelson		평 균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR(dB)	전송율(bpp)
0	32.93	0.857	31.47	0.873	32.61	0.785
5	31.21	0.996	30.18	1.032	30.82	1.090
10	26.71	1.495	26.42	1.372	28.26	1.316
20	22.37	2.045	21.79	1.975	24.30	1.688
30	20.62	2.208	19.67	2.212	21.55	2.061

(a)

σ	Burt와 Adelson		평 균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR(dB)	전송율(bpp)
0	34.03	0.765	33.37	0.762	34.04	0.558
5	32.22	0.883	32.23	0.806	31.94	0.796
10	26.65	1.371	26.82	1.193	28.55	1.044
20	22.07	1.987	21.40	1.925	23.85	1.477
30	20.27	2.213	19.14	2.213	21.01	1.784

(b)

σ	Burt와 Adelson		평 균		제안한 방법	
	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR (dB)	전송율(bpp)	PSNR(dB)	전송율(bpp)
0	32.83	0.875	32.00	0.903	32.48	0.704
5	31.42	0.999	30.79	0.985	31.00	0.909
10	27.47	1.359	27.30	1.285	28.64	1.077
20	22.95	1.890	22.59	1.838	24.76	1.417
30	21.03	2.122	20.30	2.124	22.05	1.682

(c)

투영데이터는 투영방향을 따라 잡음을 평활화시키는 효과를 나타낸다. 즉 수평방향의 투영은 수평방향으로 잡음을 평활화시키고 수직방향 투영은 수직 방향으로 잡음을 평활화시킨다. 잡음 평활화 정도는 투영하는 데이터의 수가 많을수록 그리고 잡음의 정도가 증가할수록 증가한다. 표 5에는 잡음영상에 대한 실험결과를 보였다. 잡음영상으로는 원영상에 가산형 백색 가우스 잡음 (additive white Gaussian noise)을 첨가한 영상을 이용하였으며 σ 는 가우스 잡음의 표준편차를 나타낸다. 라플라시안 평면의 양자화는 표 1을 따랐으며 제안한 방법에서 L_0 평면의 양자화는 투영데이터를 양자화하였다. 표 5에서 보면 제안한 방법은 잡음의 정도가 증가할수록 기존의 방법보다 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 투영을 사용한 피라미드라 부호화 기법을 제안하여 기존의 피라미드 부호화 기법들과의 성능비교를 통하여 그 타당성을 검증하였다. 실험 결과 투영을 이용한 피라미드는 투영방향의 선택여부에 따라 에지보존 성질이 있음을 확인하였다. 투영데이터로부터 가우스 피라미드를 구성하여 점진적 영상전송에 응용한 경우 PSNR 성능은 기존의 피라미드 부호화 기법보다 우수하였고 에지를 잘 보존하기 때문에 주관적 성능면에서도 우수함을 확인하였다. 또한 라플라시안 평면을 투영 양자화하여 전송시 전송율을 기존의 방법에 비해 감소시킬 수 있었다. 또한 잡음 영상에 대한 실험에서는 잡음의 정도가 증가하면 제안한 방법의 성능이 우수함을 확인하였다.

본 논문에서 영상의 투영개념을 이용하여 계층적인 가우스 피라미드를 구성하고 이를 점진적 영상전송에 응용하였으며 이는 앞으로 다른 부호화 기법들과의 결합으로 좋은 성능을 얻을 수 있으리라 기대된다. 예를 들어 가변블럭모드를 이용한 투영데이터의 전송, 예측오차의 투영 또는 투영데이터의 블럭절단부호화 적용시 전송량을 감소시킬 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

[1] K.-H. Tzou, "Progressive image transmission: A review and comparison of techniques," *Optical Engineering*, vol. 26, pp. 581-589, July 1987.

[2] M. Rabbani and P. W. Jones, *Digital*

- Image Compression Techniques*. SPIE Optical Engineering Press, pp. 190-202, 1991.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC2/WG10/JPEG-9-R6, "Digital compression and coding of continuous-tone still images," Jan. 1991.
- [4] S. Tanimoto and T. Pavlidis, "A hierarchical data structure for picture processing," *Comput. Vision, Graphics, Image Process.*, vol. 4, pp. 104-119, Sep. 1975.
- [5] S. Tanimoto, "Image transmission with gross information first," *Comput. Vision, Graphics, Image Process.*, vol. 9, pp. 72-76, Jan. 1979.
- [6] P. J. Burt and E. H. Adelson, "The Laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-31, pp. 337-345, Apr. 1983.
- [7] M. Goldberg. and L. Wang, "Comparative performance of pyramid data structures for progressive image transmission," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-39, pp. 540-548, Apr. 1991.
- [8] 정 기룡, 이 채욱, 김 신환, "배율 가변형 계층구성을 이용한 영상의 단계적 전송," 한국통신학회 논문지, 제 17권 제 6호, pp. 621-627, 1992년 6월.
- [9] 김 해성, 김 남철, "Edge 정보에 근거한 피라미드 영상부호화," 전자공학회 논문지, 제 25권 제 10호, pp. 85-93, 1988년 10월.
- [10] A. Macovski, *Medical Imaging Systems*. Prentice-Hall, pp. 106-126, 1983.
- [11] 박 회복, 김 병성, 이 충웅, "투영데이터의 벡터양자화에 의한 영상압축," 전자공학회 논문지, 제 28권 B편 제 4호, pp. 61-70, 1991년 4월.
- [12] A. Rosenfeld and A. C. Kak, *Digital Picture Processing*. Academic Press, 2nd ed., vol. 1, pp. 353-430, 1982.
- [13] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*. Prentice-Hall, pp. 591-598, 1990.

 著者紹介



元容光(準會員)

1971年 2月 17日生. 1992年 서강대학교 전자공학과 졸업. 1993년 현재 서강대학교 전자공학과 석사과정 재학중. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 영상 부호화, 적응신호 처리, HDTV 신호처리 등임.

金俊植(正會員) 第 29 卷 B 編 第 4 號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 박사과정 재학중

朴來弘(正會員) 第 23 第 6 號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 부교수