

라플라시안 피라미드 부호화에 의한 영상 압축에 관한 연구

박유경*, 박지환**

*부경대학교 교육대학원 전산교육전공

**부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학전공

A Study on Image Compression Using Laplacian Pyramid Encoding

Yu-Kyong Park*, Ji-Hwan Park**

*Education of Computer Science, PuKyong Nat'l University

**Div. of Computer&Multimedia Eng, PuKyong Nat'l University

요 약

인접한 화소들간의 상관성에 대한 오류 정보만을 추출하여 전송하는 기법인 라플라시안 피라미드는 알고리즘 구성이 간단하며, 낮은 엔트로피 전송이 가능한 무손실 예측 압축과 점진적인 전송이 가능한 이점을 가지고 있다. 이러한 라플라시안 피라미드를 효율적으로 구성하기 위하여 기존의 5×5 가중치 행렬을 3×3 가중치 행렬로 구성하는 새로운 기법을 보인다. 3×3 가중치 행렬을 이용하는 방법이 5×5 가중치 행렬에 의한 알고리즘의 구성보다 간단하면서도 압축효율이 높음을 시뮬레이션을 통하여 보인다.

1. 서론

자연 영상의 인접한 화소들은 높은 상관성을 가지게 된다. 영상의 축소와 확장시 상관성을 고려하여 간단히 수행할 수 있으며, 이로 인한 오차 정보를 최대한 줄임으로써 압축 효과를 볼 수 있는 것이다. 그리고, 화소들과의 상관 오류만을 부호화 및 복호화하는 알고리즘은 구성이 쉽고 단순한 이점이 있다.

이러한 성질을 이용한 라플라시안 피라미드는 인접한 화소들 사이의 상관성이 없는 정보, 즉 오류 정보를 최대한 줄임으로써 좋은 압축 효과를 가져 올 수 있는 것이다.

Burt와 Adelson의 라플라시안 피라미드는 5×5 가중치 행렬을 기반으로 이루어지게 된다[1]. 즉, 인접한 다섯 개의 화소에 특정 가중치 값을 부여한다. 각각의 가중치 값에 의하여 5×5 가중치 행렬을 구성하게 된다. 구해진 가중치 값들에 의해 축소 과정과 확장 과정을 거치게 된다. 축소 과정은 가우시안 영상을 기반으로 이루어진다. 가우시안 영상이란 인접한 화소들에

가중치를 부가하여 산술 평균값을 구한 다음, 하나의 화소의 값으로 계산하는 것으로 $2^i \times 2^i (0 < i < M)$ 크기의 원 영상을 $2^{(i-1)} \times 2^{(i-1)}$ 크기로 축소된다.

확장 과정은 가우시안 피라미드 방정식에 의하여 형성된 $2^{(i-1)} \times 2^{(i-1)}$ 크기의 영상을 $2^i \times 2^i$ 크기의 원 영상으로 확장하는 과정이다. 두 과정을 거친 다음 원 영상과 확장된 가우시안 영상과의 차분을 취하면 윤곽선만 남는 라플라시안 영상을 추출하게 된다.

이런 과정을 단계별로 수행한 다음 각 단계의 라플라시안 영상과 상위 영상을 양자화 시킨후 전송한다. 따라서 라플라시안 영상 압축은 예측 압축과 계층 부호화가 가능한 이점을 가지게 된다.

본 논문에서는 Perry의 라플라시안 피라미드 부호화[2]를 이용하여 5×5 가중치 행렬이 아니라 3×3 가중치 행렬로 간단하게 구성하는 기법을 보이고, 그 효율을 비교 분석한다.

2. 3×3 블록에 기초한 라플라시안 피라미드 형성

(1) 축소 과정

라플라시안 피라미드는 가우시안 영상으로 이루어진다. 축소 과정이 수행에 의해 가우시안 영상은 표준 분포도에 의하여 영상의 잡음을 줄이고 윤곽선의 굵기를 넓히게 된다[3].

본 논문에서는 Burt와 Adelson의 가우시안 필터를 3×3 블록으로 구성한다. 3×3 블록을 구성하기 위한 가중치 방정식은 식 (1)과 같다.

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

단, $m = \{-1, 0, -1\}$, $n = \{-1, 0, -1\}$ (1)

$w(-1, -1)$	$w(-1, 0)$	$w(-1, 1)$
$w(0, -1)$	$w(1, 0)$	$w(0, 1)$
$w(1, -1)$	$w(1, 0)$	$w(1, 1)$

[그림1] $w(m, n)$ 좌표

이때 $\hat{w}(i)$ 는 한 화소를 기준으로 양옆의 화소들에게 일정한 가중치 값을 부여하여 구하게 된다.

$$\hat{w}(0) = a \quad \text{단, } 0 < a < 1$$

$$\hat{w}(-1) = \hat{w}(1) = b$$
 (2)

이 가중치 값들의 합은 '1'에 수렴하여야 한다.

$$\sum_{i=-1}^1 \hat{w}(i) = 1 \quad \text{단, } i = \{-1, 0, -1\}$$
 (3)

식(2),(3)에 의하여 가중치 값은 다음과 같다.

$$\hat{w}(0) = a$$

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

식(5)에 의하여 $w(m, n)$ 을 형성할 수 있다.

$$w(m, n) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 w(m)w(n)$$

$$= \begin{bmatrix} b^2 & ab & b^2 \\ ab & a^2 & ab \\ b^2 & ab & b^2 \end{bmatrix}$$
 (5)

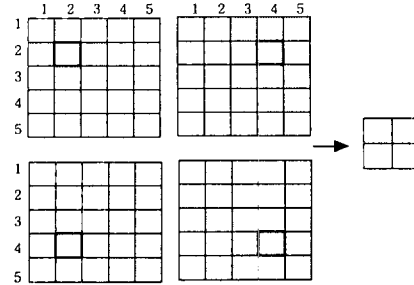
$g(i, j)$ 는 단계 l 에서 위치 (i, j) 의 가우시안 영상의 한 화소이라면 가중치 행렬을 이용하여 가우시안 피라미드를 식(6)형성하게 된다.

$$g_{l+1}(i, j) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 w(m, n)g_l(2i+m, 2j+n)$$

($l = 1, 2, 3, \dots$) (6)

위 축소 과정을 $g_{l+1} = R(g_l)$ 로 나타내기로 한다.

3×3 블록 형성시 그림2에서 보듯이 좌표를 좌측으로 2씩 쉬프트를 한 다음 새로운 블록을 형성한다. 다음 줄의 형성 시에는 2줄 쉬프트를 한 후 형성을 한다.



[그림2] 3×3 축소 과정

이와 같은 축소 과정을 거치면 상위 단계 영상은 하위 단계의 영상보다 크기가 1/4로 줄어들게 된다.

(2) 확장 과정

축소 과정은 3×3 가중치 행렬에 의하여 이루어졌으므로 확장될 화소와 관련이 있는 상위 영상의 화소들은 2×2임으로 3×3의 가중치 행렬을 사용하지 않는 대신 상위 단계 영상의 인접한 화소들의 산술 평균값에 의하여 하위 단계의 확장 영상을 형성하게 된다.

$$g_l(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 g_{l+1}(\frac{i-m}{2}, \frac{j-n}{2})$$
 (7)

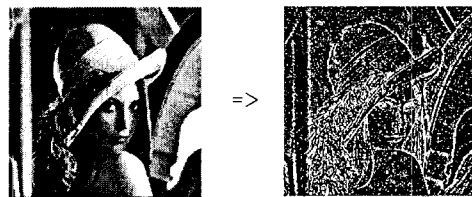
위의 확장 과정을 $g_l = E(g_{l+1})$ 로 나타내기로 한다.

이와 같이 확장 과정을 거치면 영상은 하위 단계의 영상 크기와 같은 크기로 확대된다.

(3) 라플라시안 영상 추출

하위 단계의 가우시안 영상 g_l 과 상위 단계의 가우시안 영상 g_{l+1} 을 확장한 영상 $E(g_{l+1})$ 의 차분을 구하여 라플라시안 영상을 추출한다.

$$L_l = g_l - E(g_{l+1})$$
 (8)



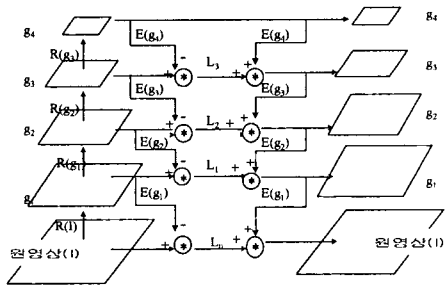
[그림3] 원 영상(I)과 라플라시안 (L_0)

차분으로 생성된 영상인 라플라시안 영상에서 볼 수 있듯이 '0'의 값들은 원 영상과 높은 상관 관계를 가지는 값들이다. 반면에 큰 음수 값이나 양수 값은 원 영상의 윤곽선 부분에 해당하는 값들이다. 즉, 라

플라시안 영상의 정보들은 축소와 확장 과정에서 생긴 차를 가지게 된다.

(4) 라플라시안 피라미드 형성

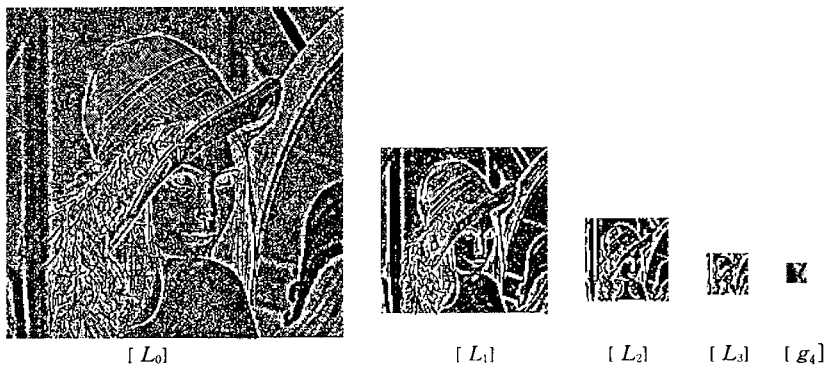
하위 단계에서 축소된 가우시안 영상을 다시 축소와 확대 과정을 거쳐서 각 단계의 라플라시안 영상을 생성하게 된다.



[그림4] 5단계 라플라시안 피라미드 형성 과정

즉, 원 영상(I)에서 축소과정을 거친 후에 g_1 을 추출하고, 확장 과정을 거친 영상과 원 영상의 차분을 취한 후 L_0 을 추출한다. g_1 을 다시 축소과정을 거쳐 g_2 가 형성되면 확장 과정을 거쳐 차분 영상인 L_1 을 추출하고, g_2 를 다시 축소과정을 거쳐 g_3 가 형성되면 확장 과정을 거쳐 차분 영상인 L_2 를 추출하고, g_3 를 다시 축소과정을 거쳐 g_4 가 형성되면 확장 과정을 거쳐 차분 영상인 L_3 를 추출한다.

5단계 라플라시안 피라미드 형성 단계를 거치면 L_0, L_1, L_2, L_3 의 라플라시안 영상과 최상위 영상 g_4 를 얻게 된다. 여기서 L_0 는 최하위 단계의 영상이며 g_4 는 최상위 단계의 영상이 된다. 따라서, g_4 의 크기는 원 영상 크기의 1/16로 축소된다.



[그림5] 각 단계별 라플라시안 영상과 최상위 영상

3. 라플라시안 영상의 부호화 및 복호화

(1) 라플라시안 영상의 부호화

라플라시안 피라미드 5단계를 거쳐서 얻어진 L_0, L_1, L_2, L_3, g_4 영상들을 효율적으로 전송하기 위하여 압축 부호화를 한다.

라플라시안 피라미드 영상의 부호화 방법에는 엔트로피 부호화 방법, 변환 부호화 방법 및 벡터 양자화 방법 등이 대표적이다.

엔트로피 부호화 방법은 무손실 압축 부호화임으로 압축율은 약간 떨어진다. 그리고 변환 부호화 방법중 DCT는 상관 계수가 클 때 효율적이나 상관성이 낮은 경우에는 최적이지 않다. 벡터 양자화 방법은 영상의 특성에 맞게 2×2 또는 4×4 의 크기로 코드북을 만들어 부호화하는 방법임으로 코드북을 구성하고 검색하는데 시간이 많이 걸리는 단점있다[4-5].

위 3가지 방법 중 변환 부호화 방법과 벡터 부호화 방법은 손실 압축 부호화임으로 본 논문에서 요구하는 무손실 예측 압축에 합당하지 않으므로 엔트로피 부호화에 의한 무손실 압축을 수행한다. 여기서는 무손실 압축 부호화로 허프만 부호화를 사용한다.

(2) 라플라시안 영상의 복호화

원 영상으로 복호화는 각 단계의 라플라시안 영상 L_0, L_1, L_2, L_3 과 최상위의 영상인 g_4 를 이용하여 단계 영상들을 복호화하여 원 영상을 추출하게 된다.

상위 단계의 가우시안 영상을 확장하여 하위 단계의 라플라시안 영상을 더하면 하위 단계의 영상이 복원되어진다.

$$g_l = E(g_{l+1}) + L_l \tag{9}$$

그림5에서처럼 최상위 단계의 영상인 g_4 를 확장한 g_3' 에 L_3 을 더하면 g_3 의 영상이 복원된다. g_3 를 다

[표1] $w(0)$ 의 가중치 값에 따른 허프만 부호화의 결과

[byte]

	대상영상	$w(0)=0.1$	$w(0)=0.2$	$w(0)=0.3$	$w(0)=0.4$	$w(0)=0.5$	$w(0)=0.6$	$w(0)=0.7$	$w(0)=0.8$	$w(0)=0.9$
L_0	65,536	44,458	44,020	43,567	43,102	42,635	42,132	41,617	40,977	40,131
L_1	16,384	10,994	10,901	10,843	10,795	10,777	10,803	10,800	10,976	11,036
L_2	4,096	3,097	3,078	3,071	3,067	3,062	3,066	3,096	3,153	3,207
L_3	1,024	909	904	912	921	925	935	946	981	1,010
g_4	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
총바이트	87,296	59,714	59,159	58,649	58,141	57,655	57,192	56,775	56,343	55,640

시 확장하여 g_2 '구하고 L_2 를 더하면 g_2 의 영상이 복원된다. g_2 를 다시 확장하여 g_1 '구하고 L_1 을 더하면 g_1 의 영상이 복원된다. 최종적으로 g_1 을 다시 확장하여 g_0 '구하고 L_0 을 더하면 원 영상이 복원된다. 이처럼 상위 단계 영상으로부터 하위 단계의 영상이 점진적으로 복원되는 계층 부호화의 특징을 갖게 된다.

4. 구현 및 결과

본 논문에서는 Lenna(256×256, 8bit/pixel)의 영상으로 3×3 가중치의 라플라시안 피라미드를 구축하였다. 그림5에 $w(0)=0.4$ 일 때 각 단계별 라플라시안 영상인 L_0, L_1, L_2, L_3 와 최상위 단계의 가우시안 영상 g_4 를 나타내었다.

해당 라플라시안 영상들을 허프만 부호로 무손실 압축후 복원한 결과, 원 영상과 복원된 영상과의 SNR 값이 '0'가 되는 무손실 압축을 구현할 수 있었다.

표1은 $w(0)$ 에 다양한 가중치값 부가하여 라플라시안 피라미드에 의해 형성된 각 단계별 라플라시안 영상 L_0, L_1, L_2, L_3 와 최상위 단계의 가우시안 영상 g_4 를 추출하여 무손실 압축한 결과를 제시하였다.

g_4 에 대해서는 그 길이가 256byte로 축소되므로 압축효과를 얻을 수 없기 때문에 부호화하지 않은 256값으로 고정하였다.

$w(0)=0.9$ 일때 가장 높은 압축율을 보였음을 알 수 있다. 그 이유는 3×3의 가중치 행렬에서는 중앙 화소의 가중치가 높을수록 축소와 확장시 정보의 손실이 가장 적기 때문이다.

한편, 5×5 가중치 행렬을 이용할 경우 $w(0)=0.6$ 일 때 압축 효율이 가장 좋았으며, 이때의 각 각의 라플라시안 영상을 허프만 부호화 한 결과는 표2와 같으므로 제안 방법이 더 효율적임을 알 수 있다.

[표2] Burt&Edward방식의 부호화 결과

[byte]

	L_0	L_1	L_2	L_3	g_4	합계
$w(0)=0.6$	46,867	12,747	3,667	1,024	256	64,561

5. 결론

인접한 화소들간의 상관성에 대한 오차 정보만을 추출하여 전송하는 라플라시안 피라미드를 3×3 가중치 행렬로 구성하였다. 그 결과 3×3 가중치 행렬은 축소 과정과 확장 알고리즘 시 5×5 가중치 행렬 알고리즘 보다 간단하게 구성할 수 있었다. 그리고 3×3 가중치 행렬만으로도 5×5 가중치 행렬 알고리즘보다 높은 압축 효과를 얻을 수 있었다.

라플라시안 피라미드 영상을 엔트로피 부호화 방법에 의한 무손실 예측 압축과 계층적 전송으로 인한 점진적 영상 전송을 구현할 수 있었다.

앞으로의 과제는 전송 영상의 정보에 해당하는 L_0, L_1, L_2, L_3, g_4 의 형성에 3×3 가중치 행렬을 이용하되 그 전송 정보의 량을 최대한 축소할 수 있는 지능적인 예측기를 생성하여 압축률을 높이고자 한다.

[참고문헌]

- [1] Peter J. Burt and Edward H. Adelson, "The laplacian pyramid as a compact image code", IEEE Transactions on communications, VOL. COM-31, NO. 4, 1983. 4.
- [2] Jeff Perry, "Image compression using laplacian pyramid encoding", C/C++ user journal, 1997. 12.
- [3] 이문호 염재훈, "영상 신호처리", 대영사, 1994.
- [4] 김정규, "벡터양자화 방법을 이용한 저층 라플라시안 피라미드 영상의 부호화에 관한 연구", 아주대학교 석사학위논문, 1992. 2.
- [5] 이정훈, "라플라시안 모델을 이용한 대역분할 DCT영상 부호화", 강원대학교 석사학위논문, 1996. 2.