

웨이블렛 변환을 이용한 적응적 영상 보간 기법

정희원 김태현*, 정진호**, 고성제**

Adaptive Image Interpolation Method Using Wavelet Transform

Tae-Hyun Kim*, Jin-Ho Jung**, Sung-Jea Ko** *Regular Members*

요 약

정지영상에서는 손실된 객체 영역의 화소를 복원하기 위하여 가장 가까이 이웃한 값들의 가중치 된 평균으로 처리하는 보간 방법을 많이 사용한다. 그러나 이와 같은 선형적 보간 기법은 예지나 미세한 부분의 값들을 제대로 재생할 수 없다. 본 논문에서는 임의로 제거되거나 손실된 객체 영역을 복원하기 위하여 웨이블렛 변환에 기반을 둔 영상 보간 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 웨이블렛 변환된 각각의 부대역의 특성에 적합한 개별적인 보간을 수행한다. 먼저 고주파 대역에서 추정된 에지에 의해 객체 영역 내부를 분할하고 저주파 대역에서 에지 구조에 따라 적응적 보간 기법을 수행한다. 뒷 배경의 에지 부분은 고주파 대역에서 수평, 수직 보간 방법에 의해 복구된다. 제안된 보간 기법은 손실된 에지의 추정이나 제거된 객체 영상을 생성하는데 효과적이며, 실험 결과 복원된 영상의 화질면에서 일반적인 선형 보간 방식보다 우수함을 나타내었다.

ABSTRACT

In order to reconstruct pixels in the lost object areas of a still image, conventional interpolation methods utilize the weighted average of values of the closest neighbor pixels. However, this linear interpolation scheme cannot restore details and sharp edges of the lost image object. In this paper, an image interpolation method using wavelet transform is proposed to restore the lost object area. The proposed method uses the characteristics of wavelet transformed subbands and applies individual interpolation schemes to the subbands. First, the lost object region is segmented using edges estimated in the high-frequency subbands. In the low-frequency subband, the lost areas are reconstructed by an adaptive interpolation method using neighbor pixels selected according to the estimated edge structures. The high-frequency subbands are restored by horizontal and vertical interpolation methods using edge orientations. Experimental results show that the proposed interpolation method performs better than conventional linear interpolation methods.

I. 서론

영상 부호화 기술의 발달과 함께 동영상이나 정지영상에서 오류로 인하여 손실 또는 제거된 부분을 복원하는 방법들이 많이 연구되어 왔다^[1]. 동영상에서 전송 경로의 채널 잡음으로 손상된 영상을 복원하는 경우에는 이웃한 블록의 움직임 벡터(motion vector)를 이용하여 손실된 블록을 시간 영역에서 효과적으로 추정해 낼 수 있다. 그러나, 정지 영상의 경우에는 움직임 벡터가 사용될 수 없으

므로 공간적 영역(spatial domain)에서 선형적 보간 기법(linear interpolation method)이나 필터를 이용하여 손실된 부분을 복원할 수 있다^[2]. 손실된 블록이나 영역에 대한 선형 보간 기법은 복원 영역의 화소값들을 인접한 화소들의 평균값으로 처리하므로, 예지나 미세한 영역에 대한 복원력이 떨어진다. 이러한 공간적 영역에서의 제약을 보완하기 위해 주파수 영역으로 변환한 뒤 신호를 해석, 추정하고 복원하는 방법이 제안되기도 하였다^[3-8]. 그러나 이러한 여러 가지 복원 기법들은 주로 잡음 제거나

* LG정보통신 정보S/W 연구소

** 고려대학교 전자공학과

논문번호 : 98542-1216, 접수일자 : 1998년 12월 16일

손실된 일부분의 신호를 복원하는 방법들로서 영상의 특성을 구성하는 조건을 설정하거나 많은 반복 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다.

영상 편집 및 특수 효과를 위하여 영상의 한 부분이 의도적으로 삭제되었을 때 삭제된 부분의 배경을 복원할 필요가 있다. 본 논문에서는 임의로 삭제된 영상의 객체 부분을 인접한 배경과 어울리는 값으로 채워 넣음으로써 자연스럽게 복원된 결과를 얻을 수 있는 영상 보간 기법을 제안하였다. 제안한 웨이블릿(wavelet) 기반의 영상 보간 기법에서는 영상 신호를 웨이블릿 변환한 영역에서 공간적 정보와 주파수 정보를 동시에 사용하여 각 부대역의 특성에 맞는 보간 기법을 적용한다^{9,10}. 웨이블릿 변환된 부대역의 계수들은 에지의 방향성을 잘 표현하고 있으므로, 대역의 특성을 이용한 보간 기법을 각각의 대역에 개별적으로 적용하면 손실된 화소값의 추정과 복원을 효율적으로 수행할 수 있다. 제안한 방법은 먼저 웨이블릿 변환된 부대역에서 에지 성분을 검출하여 객체 내부를 분할하게 된다. 이렇게 분할된 저주파 대역에서 에지의 특성을 고려한 적응적인 보간을 수행하고, 고주파 대역에서 에지 성분에 대한 보간을 수행함으로써 반복적인 수행을 거치지 않고도 손실된 영상의 고주파 성분과 저주파 성분을 동시에 효과적으로 추정 및 복원해 낼 수 있다¹¹. 제안한 방법을 예를 들어 영화 속에서 스탠트맨의 몸에 매달린 줄 또는 영상의 긁힌 자국(scratch)들을 제거한 후 잘라낸 부분을 채워 넣어야 할 때 적용하면 편집자가 수작업으로 직접 그려 넣거나 인접한 부분으로부터 비슷한 값들을 잘라 붙이는 편집 방법보다 효과적으로 영상을 복원할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 웨이블릿 변환 대역의 특징을 살펴보고, 에지 구조에 따라 객체 내부를 분할한 뒤 웨이블릿 변환된 각각의 대역에서 개별적으로 보간을 수행하는 방법에 대해 설명한다. 저주파 대역에서는 영상의 에지의 존재에 따라 적응적으로 수행되는 보간 기법을 제안하고, 고주파 대역에서는 수평, 수직 방향의 에지에 적합한 보간을 적용하는 방법에 대해 설명한다. III장에서는 제안된 보간 기법을 이용하여 정지 영상에 적용한 실험 결과를 보임으로써 주관적, 객관적인 성능을 평가할 수 있도록 하며, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 웨이블릿 기반의 영상 보간 기법

본 논문에서 제안된 영상 복원 기법은 그림 1과 같은 구조를 갖는다. 손실된 영상이 입력되면, 먼저 웨이블릿 변환이 수행된다. 웨이블릿 변환된 고주파 대역은 에지 성분을 포함하고 있으므로 영상의 배경에 존재하는 에지 방향을 추정하는 데 사용될 수 있다. 따라서 손실된 객체 영역 주변의 화소 정보로부터 에지 성분을 검출하고, 저주파 대역에서 에지 구조에 따라 나누어진 각각의 영역에 대해 적응적 보간을 수행한다.

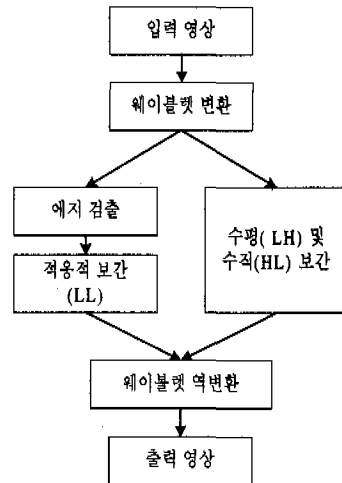


그림 1. 제안된 영상 복원 과정.

고주파 대역에서는 수평, 수직 방향에 따라 보간을 수행함으로써 에지 성분을 복원한다. 이렇게 각 대역별로 개별적인 보간을 통해 손실된 영역에 대한 복원이 끝나면 역변환을 통해 영상을 조합하게 된다.

제안된 영상 복원 과정을 각 단계별로 자세히 설명하기로 하자. 먼저 그림 2(a)와 같이 흰 선으로 구분된 임의 형태의 객체를 제거하고 웨이블릿 필터로 통과시켜 변환하면, 그림 2(b)와 같은 변환 영상 얻을 수 있고 그림 2(c)에서 나타난 부대역을 가지게 된다. 그림 2(b)에서 LL 대역의 삭제된 객체 영역이 LH, HL, HH 대역에서도 같은 크기와 모양으로 나타나며, 부대역에 따라 객체 주위에 일정한 방향으로 에지가 존재하고 있음을 확인할 수 있다. LL 대역은 복원 영상에 미치는 영향이 가장 큰 대역으로서 원 영상 신호가 가지고 있는 에너지의 대부분을 포함하고 있다. 그리고, LH 대역은 영상의 수평 에지에 해당하는 고주파 성분이 나타나고, HL 대역에서는 수직 에지에 해당하는 고주파 성분이 나타난다.



(a)



(b)

LL	HL
LH	HH

(c)

그림 2. 웨이블릿 변환, (a) 원 영상, (b) 변환된 영상, (c) 변환된 부대역.

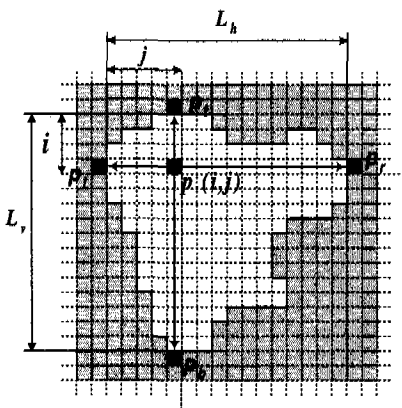


그림 3. 복원하려는 임의 형태의 객체.

각각의 변환 대역에서 추정하고자 하는 화소값을 그림 3과 같이 $\mu(i, j)$ 라고 하면, $\mu(i, j)$ 에 수평, 수직 방향으로 가장 근접해 있는 객체를 둘러싼 화소

값들을 각각 p_l, p_b, p_r, p_t 으로 정의할 수 있고, 그 위치에서 객체의 수평, 수직 방향으로의 길이를 각각 L_v, L_h 로 나타낼 수 있다.

일반적으로 공간적 영역에서 영상 보간은 추정하고자 하는 화소에 수평, 수직으로 가장 근접해 있는 화소값들을 이용한다. $\mu(i, j)$ 는 아래와 같이 이웃한 화소들의 거리에 따른 가중치를 고려한 평균값으로 복원될 수 있다.

$$\mu(i, j) = \frac{[(1-\lambda)p_l + \lambda p_b + (1-\mu)p_r + \mu p_t]}{2} \quad (1)$$

여기서 $\lambda = i / (L_v + 1)$, $\mu = j / (L_h + 1)$ 이다. 그러나, 이 방법은 객체 내부에 존재할 수 있는 에지를 고려하지 않기 때문에 p_l, p_b, p_r, p_t 화소값들이 서로 큰 명암 차이를 가질 때 복원 영상의 결과가 자연스럽지 못하다. 따라서 본 논문에서 제안한 영상 보간 기법은 웨이블릿 변환을 통해 얻어진 부대역들의 고유한 특성을 이용하여 LL, LH, HL 대역에서 개별적인 보간 기법을 적용한다. LL 대역에서는 분할된 객체 내부의 에지 구조 정보를 이용하여 적응적 보간 기법을 적용하고, LH, HL 대역에서는 수평, 수직 보간을 수행하여 영상을 복원하도록 한다. 적응적 보간 방법은 복원하려는 영역을 에지로 구분된 몇 개의 작은 영역으로 나누어 보간을 수행함으로써 단순한 선형 보간 방법을 보완할 수 있다. 따라서 객체 영역을 분할하기 위해 다음과 같이 이웃한 화소들의 에지 정보를 조사한다.

1. 객체 내부의 에지 구조 추정

웨이블릿 변환된 고주파 대역의 계수값들은 인접한 화소의 명암 차이 특성을 잘 반영하므로, 그 계수 값이 크다는 것은 원 영상에서의 명암 차이가 크다는 것을 의미한다. 따라서 LH, HL 대역에서 선택된 객체의 가장자리 경계면을 따라 계수의 절대값을 조사하여 에지가 존재하는 부분을 검출한다. 먼저 웨이블릿 변환된 고주파 대역(LH, HL)에서 객체를 둘러싼 이웃 화소들로부터 수직, 수평 에지 성분을 검출한 뒤 객체 내부의 에지 구조를 추정하며, 에지 구조 정보에 따라 객체 내부를 몇 개의 작은 영역으로 분할한다.

그림 4(a)는 웨이블릿 변환된 HL, LH 대역에서 에지 성분을 검출하기 위해 객체를 둘러싼 이웃 화소들을 이용하는 방법을 나타내고 있다. 여기서 i, j 는 각각 복원하고자 하는 객체영역에 대한 수직, 수평 방향의 좌표로서, 객체의 가장 왼쪽부터

$j=1,2,3 \dots$ 이 되고 가장 위쪽부터 $i=1,2,3 \dots$ 이 된다. 그리고 d_{l-1}, d_{r+1} 는 d_l, d_r 에서 j 방향으로 각각 $-1, +1$ 만큼 이웃해 있는 화소이며, d_{l-1}, d_{b+1} 는 d_l, d_b 에서 i 방향으로 각각 $-1, +1$ 만큼 이웃해 있는 화소이다.

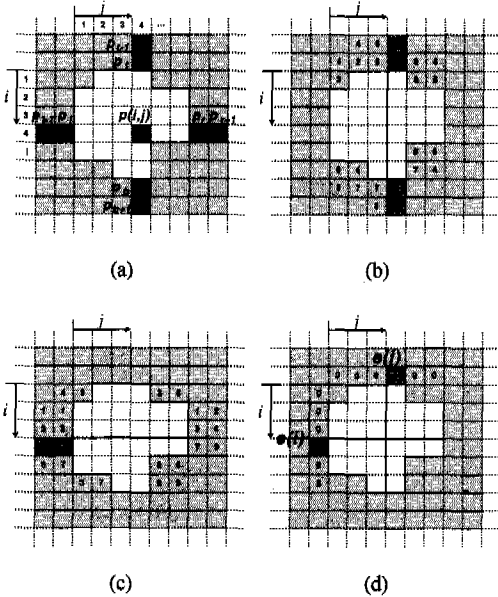


그림 4. 객체의 에지 구조 추정, (a) 에지 검출에 사용되는 이웃 화소, (b) HL 대역에서의 에지 검출, (c) LH 대역에서의 에지 검출, (d) 에지 성분의 조합.

고주파 통과 대역은 영상의 잡음에 민감한 특성이 있으므로, 경계면 주위의 두 화소에 대한 평균값을 취하여 이 값이 에지 임계값(edge threshold) T_e 보다 크면 에지가 존재한다고 판단한다. 객체의 경계부분과 인접한 두 화소를 이용하여 식 (2)와 같이 에지를 검출한 후 수평 에지 정보 $e_h(i)$ 와 수직 에지 정보 $e_v(j)$ 를 저장한다.

$$e_h(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{|d_l + d_{l-1}|}{2} > T_e \\ 1, & \text{if } \frac{|d_r + d_{r+1}|}{2} > T_e \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$e_v(j) = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{|d_t + d_{t-1}|}{2} > T_e \\ 1, & \text{if } \frac{|d_b + d_{b+1}|}{2} > T_e \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

예를 들어 영상의 웨이블릿 변환된 HL, LH 대역

의 객체 경계 일부분에서의 계수값들이 그림 4(b), 4(c)와 같다고 하자. 수직 에지를 찾기 위하여 그림 4(b)와 같은 HL 대역에서 에지 임계값 $T_e=10$ 이라면 $j=4$ 에서 $e_v(4)=1$ 이 되므로 이 위치($j=4$)에서 수직 성분의 에지가 존재한다고 판정하고, 굵은 선으로 표시된 것처럼 객체 내부가 분할된다. 마찬가지로 방법으로 수평 에지를 찾기 위하여 그림 4(c)와 같은 LH 대역에서 $i=4$ 일 때 $e_h(4)=1$ 이 되므로 이 위치($i=4$)에서 수평 성분의 에지가 존재한다고 판정하게 된다. 이렇게 얻어진 수평 에지 정보 $e_h(i)$ 와 수직 에지 정보 $e_v(j)$ 를 이용하여 그림 4(d)와 같이 객체 내부가 추정된 에지로 분할되면, LL 대역에서 복원하려는 객체 영역은 적응적 보간을 수행하기 위한 몇 개의 작은 영역으로 나뉘어진다.

2. 저주파 대역에서의 보간 기법

LL 대역은 저주파 통과 필터를 거친 영역으로서 원래 영상보다 해상도가 반으로 줄어든 결과를 갖는다. 그러나 원 영상 신호가 가지는 에너지의 대부분을 가지고 있기 때문에 복원 영상에 미치는 영향이 가장 큰 대역이다. 고주파 대역에서 얻어진 영역 분할 정보를 이용하여 저주파 대역의 객체 영역을 몇 개의 작은 영역으로 나눌 수 있다. 나누어진 각각의 작은 영역들은 주위에 존재하는 에지 위치에 따라 그림 5와 같이 R0, R1, R2, R3, R4 중 한가지 경우로 구분된다. R0는 복원하려는 화소가 속한 영역을 둘러싼 에지가 하나도 없는 경우이며 R1, R2, R3, R4는 영역을 둘러싼 에지의 개수가 1, 2, 3, 4개임을 의미한다. 따라서 구분된 영역의 종류에 따라 보간에 쓰이는 화소 정보가 선택적으로 사용된다.

$p(i,j)$ 를 복원하기 위해 보간에 사용되는 화소들의 집합을 $S = \{d_l, d_r, d_t, d_b\}$ 라 하자. 그림 5(a)는 복원하려는 화소가 속한 영역 주위에 어떠한 에지도 존재하지 않는 R0 영역이며, S의 네 가지 원소를 모두 이용하는 식 (1)을 통하여 복원값을 구할 수 있다. 그림 5(b)의 R1 영역은 주위에 한 개의 에지만 존재하는 경우로서, 복원하려는 화소와 d_l, d_b, d_t, d_r 사이에 에지가 존재하지 않는 S의 값들을 보간에 이용한다. 마찬가지로 그림 5(b),(c)에 나타난 각각의 영역에서는 복원하려는 화소와 S의 원소들 사이에 에지가 존재할 때, 그 화소값을 보간에 사용하지 않으므로써, 명암 차이의 간섭으로 에지부

분이 회미해지는 것을 방지하도록 한다. 그림 5(c)의 R4 영역은 주위가 모두 에지로 둘러싸여 있는 경우이며, 이때에는 네 개의 화소들 중에서 서로 가장 적은 차이를 갖는 두 값을 선택하여 평균을 취한다.

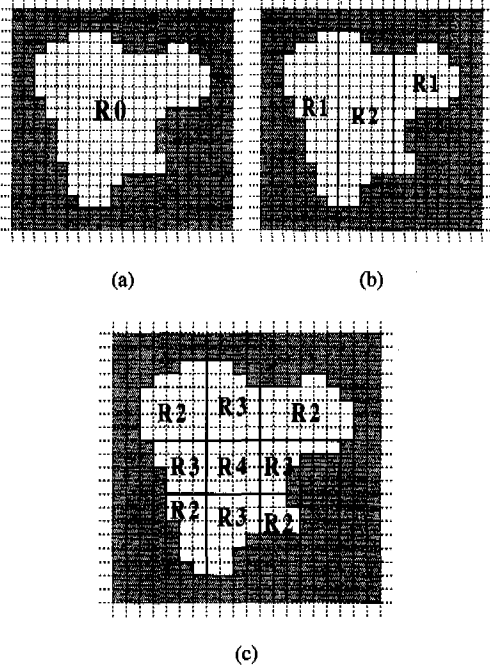


그림 5. 에지의 구조에 따른 영역의 구분, (a) R0 영역, (b) R1,R2 영역, (c) R2,R3,R4 영역.

표 1. 에지 존재 유무의 판단.

에지 존재 구간	존재할 때	존재하지 않을 때
$p_l \sim p(i, j)$	$l_f = 0$	$l_f = 1$
$p(i, j) \sim p_r$	$r_f = 0$	$r_f = 1$
$p_t \sim p(i, j)$	$t_f = 0$	$t_f = 1$
$p(i, j) \sim p_b$	$b_f = 0$	$b_f = 1$

제안된 적응적 보간 기법의 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 복원하려는 화소 $p(i, j)$ 와 p_l, p_b, p_t, p_r 사이의 범위에서 에지의 존재 유무를 표 1과 같이 l_f, r_f, t_f, b_f 로 나타낸다.

에지 구조에 따라 구분된 영역에서 복원되는 화소값은 표 1에서 얻은 l_f, r_f, t_f, b_f 를 이용하여

다음과 같이 계산된다. 첫 번째 경우는 복원하고자 하는 화소가 속한 영역이 R0~R3으로서 식 (3)과 같이 에지가 존재하지 않는 쪽의 화소들을 모두 보간에 사용할 수 있다. 두 번째 경우는 주위가 모두 에지로 둘러싸여 있는 R4 영역인 경우로서 적절한 두 개의 값을 선택하여 평균을 취한다.

(1) R0~R3의 경우 ($l_f + r_f + t_f + b_f \neq 0$) :

복원되는 화소값 $p(i, j)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$p(i, j) = \frac{[t_f T + b_f B + l_f L + r_f R]}{t_f + b_f + l_f + r_f} \quad (3)$$

여기서 T, B, L, R은 각각

$$T = (1 - \lambda)p_t + \lambda(1 - b_f)p_l,$$

$$B = \lambda p_b + (1 - \lambda)(1 - t_f)p_b,$$

$$L = (1 - \mu)p_l + \mu(1 - r_f)p_r,$$

$$R = \mu p_r + (1 - \mu)(1 - l_f)p_r \text{ 이다.}$$

(2) R4의 경우 ($l_f + r_f + t_f + b_f = 0$) :

S에 속하는 네 원소들 중에서 그 차의 절대값이 최소가 되는 두 개의 값을 선택한 후 두 값의 평균을 복원되는 되는 화소값으로 결정한다.

예를 들어 그림 6과 같이 영역이 구분될 때, 제안한 적응적 보간 기법은 재채를 둘러싸고 있는 S의 원소들 중에서 보간에 사용되는 화소의 자격을 제한하여 선택적으로 사용한다. 영역 R2, R3, R4에 속하는 화소값들을 추정하기 위한 보간을 수행할 때, 표 2에 나타난 화소들이 이용된다. R2 영역에 속하는 화소 X를 복원할 때, $X \sim p_r$ 와 $X \sim p_b$ 에서 에지가 존재하므로 각각 $t_f = 1, b_f = 0, l_f = 1, r_f = 0$ 으로 설정된다.

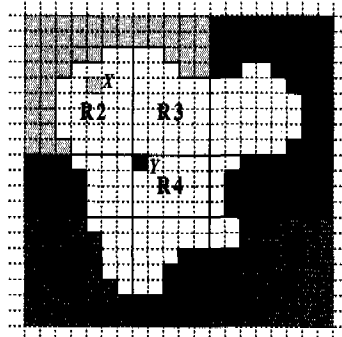


그림 6. 적응적 보간을 위한 영역의 분할 (예).

따라서 식 (3)에 의하여 복원하고자 하는 화소값

X는 $X = \frac{t_f T + t_r L}{t_f + t_r} = \frac{p_l + p_r}{2}$ 로 간략화 된다. 또 R4 영역에 속하는 화소 Y를 복원하고자 할 때, $p_l = 200$, $p_b = 15$, $p_t = 50$, $p_r = 60$ 이라고 가정하면 $|p_l - p_r|$ 에서 그 값이 최소가 되므로 p_l 와 p_r 를 이용하여 복원하는 화소값 Y는 $Y = (p_l + p_r)/2 = 55$ 가 된다. 따라서 p_l, p_b, p_t, p_r 의 네 화소값이 서로 큰 명암 차이를 나타낼 때 일반적인 선형적 보간 기법을 적용할 경우 네 값을 모두 사용하므로 부자연스러운 결과를 초래할 수 있으나, 제안된 적응적 보간 기법에서는 보간에 필요한 화소들 중에서 명암의 차이가 적은 화소값만을 선별하여 보간에 사용함으로써 영상의 에지 구조가 보존된 복원 결과를 얻을 수 있다.

표 2. 적응적 보간 기법에 사용되는 화소 (예).

영역	보간에 사용되는 화소
R2	p_l, p_t
R3	p_t
R4	p_l, p_r

3. 고주파 대역에서의 보간 기법

입력 영상을 수평, 수직방향으로 웨이블릿 변환하면 부대역에 따라 에지의 방향성이 나타난다. 따라서 대역의 특성에 적합한 보간 방식을 적용하면 고주파 통과 대역에서 방향성 에지 성분을 쉽게 복원할 수 있다. LH 대역은 영상의 수평 성분을 많이 포함하고 있으므로 식 (4)와 같이 수평 방향으로만 보간을 수행하고, HL 대역은 수직 성분을 많이 포함하고 있으므로 식 (5)와 같이 수직적 보간을 수행한다.

$$\text{LH Band: } p(i, j) = (1 - \mu)p_l + \mu p_r \quad (4)$$

$$\text{HL Band: } p(i, j) = (1 - \lambda)p_t + \lambda p_b \quad (5)$$

HH 대역은 영상의 대각 성분을 포함하고 있으나, 계수값들의 통계적 특성에 의하면 대부분 0에 가까운 값을 가지고 있으며, 인접한 화소들과 상관 관계가 매우 미약하다. 이것은 수직, 수평 방향의 에지를 포함하는 영상에 대해 웨이블릿 변환을 수행하면 변환 대역에서도 계수들이 에지의 방향으로 존

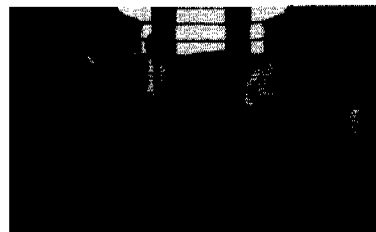
재하지만, 대각선 성분은 영상에서 모서리와 같이 일정한 방향으로 존재하는 것은 아니기 때문이다. 따라서 HH 대역에서는 보간을 수행하지 않고 0을 채워 넣는 것으로 처리한다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 장에서는 제안된 보간 기법을 이용하여 정지 영상에 적용한 실험 결과를 제시함으로써 주관적, 객관적인 성능을 평가할 수 있도록 한다. 먼저 두 개의 정지 영상에 대하여 제안된 보간 기법을 이용한 영상의 복원 효과를 살펴보았다. 첫 번째 영상에서는 사진 속에 있는 임의의 객체를 올려낸 뒤 뒷배경과 잘 어울리도록 추정하였고, 두 번째 영상에서는 영화의 특수효과에서 사용되는 줄을 제거해 보았다. 복원하고자 하는 영상에 대해 제안된 보간 기법을 적용하여 에지나 명암의 차이가 존재하는 부분을 추정하고 복원하면 단순한 선형적 보간 방법보다 더욱 우수하게 복원할 수 있음을 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 비교하여 검증하였다. 그리고 웨이블릿 변환된 고주파 통과 대역인 HH 대역에 대한 계수 분포를 분석하고 영상에 미치는 영향을 알아봄으로써 본 논문에서 제안한 기법의 타당성을 뒷받침하였다.



(a)



(b)

그림 7. 영상 편집기에 응용한 결과, (a) 일반적인 보간 기법을 적용한 결과, (b) 제안된 보간 기법을 적용한 결과.

실험에 사용된 첫 번째 영상은 계단과 창문을 배

경으로 하여 네 사람이 서있는 모습이며, 비교적 수평, 수직 성분의 에지 구조를 잘 반영하고 있는 특징이 있다. 그림 7은 그림 2(a)처럼 계단을 배경으로 하는 사진 속에서 한 사람을 선택하여 오려낸 뒤 잘려나간 객체 부분을 주위의 화소값들을 이용하여 추정한 결과이다. 그림 7(a)는 단순 선형적 보간 기법을 적용한 결과로서 에지를 고려하지 않고 복원에 사용되는 화소의 거리에 따른 가중치만을 고려하여 평균값을 취하는 방법이다. 따라서 그림의 창문과 계단처럼 명암의 차이로 인하여 에지가 명확히 구별되는 부분을 복원하고자 할 경우에는 창문 쪽의 밝은 부분과 계단 쪽의 어두운 부분이 서로 간섭하는 영향으로 바람직하지 못한 결과를 나타낸다. 그림 7(b)는 제안된 방법을 이용하여 오려낸 부분을 추정하여 복원한 결과이다. 웨이블릿 변환 영역에서 얻어진 에지 구조에 따라 보간에 필요한 화소를 선별하여 사용하기 때문에 그림 7(a)에서 나타나는 간섭 영향을 제거하면서 계단 주위의 에지를 효과적으로 복원할 수 있음을 알 수 있다.

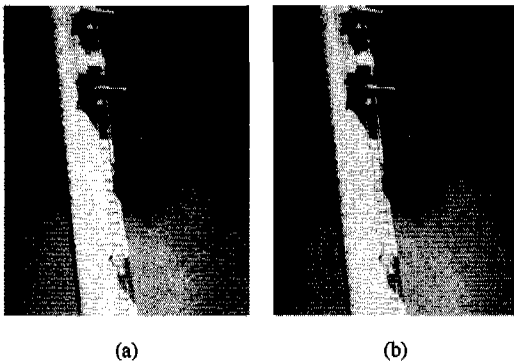


그림 8. 영화의 특수효과에 응용한 결과. (a) 원래 영상. (b) 줄이 제거된 영상.

그림 8은 영화의 특수효과를 위해 줄을 매달고 하늘을 나는 장면에서 적용한 결과이다. 이와 같이 복원하고자 하는 배경에 급격한 명암의 변화가 존재하지 않는 경우에는 에지가 존재할 때보다 더욱 쉽게 추정할 수 있다. 줄에 해당하는 부분을 선택하여 오려낸 후 제안한 보간 기법을 적용했을 때 주위의 배경과 자연스럽게 어울리면서 줄이 제거됨을 확인할 수 있다.

제안된 보간 기법의 복원 성능을 객관적으로 측정하기 위하여 그림 9와 같은 세 개의 실험 영상을 이용하였다. 실험 영상 1, 2, 3 은 각각 352×240, 360×236, 200×200 크기의 흑백 영상으로서 복원

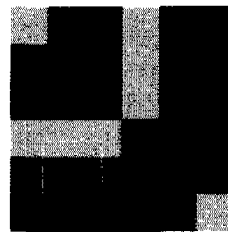
하고자 하는 부분은 그림에서 사각형 모양으로 선택된 영역으로서 비교적 에지 성분을 많이 포함하고 있는 부분으로 설정하였다. 먼저 웨이블릿 변환 대역에서 계수들의 통계적 특성을 알아보기 위하여 실험 영상 2에 대한 계수 분포를 조사하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 실험에 사용된 세 가지 영상. (a) 실험영상 1. (b) 실험영상 2. (c) 실험영상 3.

HL, LH, HH 대역에 존재하는 계수들의 분포를 살펴보면 그림 10과 같이 대부분 0에 가까운 값을 가진다. 특히 HH 대역의 계수는 주로 영상의 대각선 성분을 나타내는데 HL, LH 대역보다 훨씬 많은 값들이 0 근처에 존재함을 확인할 수 있다. 따라서 오려낸 객체 영역을 LL, LH, HL 대역에서 제안된 방법으로 보간을 수행하고, HH 대역을 0으로 채워 넣더라도 손실된 영상을 효과적으로 복원할 수 있음을 확인하였다.

표 3에서는 단순한 선형 보간 기법에 의해 복원

된 결과와 제안된 복원 기법을 적용하여 복원된 결과에 대한 PSNR을 비교하였다. 여기서 PSNR은 두 영상의 차이를 제공한 값들의 평균인 MSE(mean square errors)를 이용하여 계산되는데, 두 영상의 유사성을 비교하여 복원력을 나타내는 척도가 된다. 첫 번째는 단순한 선형 보간 기법을 적용한 경우, 두 번째는 LL 대역에서 제안된 적응적 보간 기법만을 적용한 경우, 세 번째는 LL 대역에서 제안된 적응적 보간 기법을 적용하고 LH, HL 대역에서도 제안된 수평, 수직 방향의 보간 기법을 모두 적용한 경우이다. 적응적 보간 기법을 이용하여 LL 대역에서 손실된 저주파 성분의 계수들을 복원하고, 다시 LH, HL 대역에서 수평, 수직방향의 보간 기법을 적용하여 고주파 에지 성분을 복원함으로써 단순한 선형적 보간 기법을 이용한 결과보다 영상을 효과적으로 복원해 낼 수 있음을 확인할 수 있다.

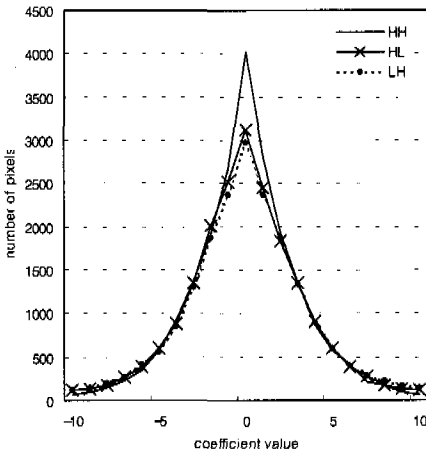


그림 10. 실험 영상 2의 고주파 대역 계수 분포

표 3. 제안된 보간 기법의 개선 효과 (dB).

보간 방법	영상 #1	영상 #2	영상 #3
단순 선형보간	19.51	23.09	27.42
LL 보간	20.68	23.93	31.82
LL, LH, HL 보간	21.13	27.27	32.21

IV. 결론

본 논문에서 제안된 웨이블릿 기반의 영상 보간 기법은 임의 형태의 손실된 영역에 해당하는 화소

값들을 효과적으로 추정하여 복원할 수 있도록 한다. 웨이블릿 변환을 통해 얻어진 고주파 통과 대역에서 객체 내부의 에지 성분을 추정하여 영역을 분할하고, 구분된 영역에 대해 저주파 통과 대역에서 보간에 사용되는 화소의 자격을 제한하는 적응적 보간 기법을 적용한다. 그리고 영상의 수평, 수직 방향의 에지 성분을 포함하는 고주파 통과 대역에서는 대역의 특성에 적합하도록 각각 수평, 수직 방향으로만 보간을 수행함으로써 효과적으로 에지 성분을 복원할 수 있도록 하였다. 따라서 배경의 에지 성분을 충분히 고려함과 동시에 반복적 수행이 필요 없이 임의의 영역에 해당하는 부분을 효과적으로 복원시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 영상을 분석하여 객체단위의 영역으로 분할하는 기법과 다양한 각도의 에지 방향에 대한 보간을 지원할 수 있도록 한다면 더욱 효과적인 영상 추정과 복원 결과를 기대할 수 있을 것이다.

이러한 기법은 MPEG-4와 같이 배경과 객체를 분리하여 전송하는 시스템의 경우 배경 영상을 생성하는 데 효과적으로 사용될 수 있으리라 기대된다. 이밖에도 임의의 객체를 오려내고 후처리가 필요한 영상 편집기, 영상 속의 잡음 제거 및 영상 전송에서 발생하는 오류 은닉 등의 다양한 분야에 응용할 수 있다.

참고 문헌

- [1] P. Salama, N. Shroff, E. J. Coyle, and E. J. Delf, "Error Concealment Techniques for Encoded Video Streams," *Proc. of the ICIP '95*, vol. 1, pp. 9-12, Oct. 1995.
- [2] P. J. S. G. Ferreira, "Interpolation and the Discrete Papoulis-Gerchberg Algorithm," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 42, no. 10, pp. 2596-2606, Oct. 1994.
- [3] A. Papoulis, "A New Algorithm in Spectral Analysis and Band-Limited Extrapolation," *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol. 22, no. 9, pp. 735-742, Sep. 1975.
- [4] F. Marques, B. Llorens, and A. Gasull, "Interpolation and Extrapolation of Image Partitions Using Fourier Descriptors: Application to Segmentation-Based Coding Schemes," *Proc. of the ICIP '95*, vol. 3, pp. 584-587, Oct. 1995.

- [5] D. C. Youla and H. Webb, "Image Restoration by the Method of Convex Projections: Part 1-Theory," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 1, no. 2, pp. 81-94, Oct. 1982.
- [6] M. I. Sezan and H. Stark, "Image Restoration by the Method of Convex Projections: Part 2 -Applications," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 1, no. 2, pp. 95-101, Oct. 1982.
- [7] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of Damaged Block Transform Coded Image Using Projections onto Convex Sets," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 4, no. 3, pp. 470-477, Apr. 1995.
- [8] A. N. Hirani and T. Totsuka, "Combining Frequency and Spatial Domain Information for Fast Interactive Image Noise Removal," *Proc. of the SIGGRAPH '96*, pp. 269-276, 1996.
- [9] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [10] J. Luo, C. W. Chen, K. J. Parker, and T. S. Huang, "A Scene Adaptive and Signal Adaptive Quantization for Subband Image and Video Compression Using Wavelets," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 343-357, Apr. 1997.
- [11] 김태현, 정진호, 설상훈, 고성제, "영상 조작을 위한 웨이블렛 영역에서의 새로운 보간 기법," *제 11회 신호처리 합동 학술대회 논문집*, 제 11권, 제 1호, pp. 37-40, Oct. 1998.

김 태 현(Tae-Hyun Kim)

정회원



1974년 1월 20일생
 1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1999년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1999년 3월~현재 : LG 정보통신 정보S/W 연구소 연구원
 <주관심분야> 멀티미디어 통신, 신호 및 영상 처리

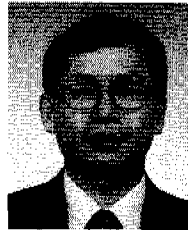
정 진 호(Jin-Ho Jung)

정회원

현재 : 고려대학교 전자공학과 대학원 석사과정 재학

고 성 제(Sung-Jea Ko)

정회원



1980년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 5월 : State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)
 1988년 8월 : State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1981년 8월~1983년 12월 : 대한전선 중앙 연구소 연구원

1988년 8월~1992년 5월 : The University of Michigan Dearbon, 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1992년 3월~현재 : 고려대학교 전자공학과 교수

현재 : IEEE Senior member, IEE member

1996년 11월 : IEEE APCCAS best paper award

1997년 12월 : 대한 전자공학회 해동 논문상 수상

<주관심분야> 신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신, 멀티미디어 통신 등

E-mail: sjko@dali.korea.ac.kr