

논문 98-7-5-06

## 2D 영상 보간 : 부화소 단위의 에지 검출

강 금 부\*, 이 종 수, 최 재 호\*, 양 우 석

## Interpolation of 2D Images : Edge Detection with Subpixel Accuracy

Keum-Boo Kang, Jong-Soo Lee, Jae-Ho Choi, Woo S. Yang

## 요 약

본 논문에서는 비선형 연산자를 이용하여 영상 개선을 위한 새로운 보간 기법을 제시 한다. 일반적인 보간 기법은 선형 연산자를 이용한 저역필터를 사용함으로써 원 영상의 고주파 성분에 대한 정보를 손실하는바 에지 부분에서의 영상 선명도가 떨어지는 경향이 있었다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선한 새로운 영상 기술을 제시 한다. 본 논문에서 제시한 보간 알고리즘은 비선형 연산자를 이용하여 입력 영상 데이터의 성질에 따라 고주파 성분과 저주파 성분을 달리 조절함으로써 원래 영상에 가까운 해상도를 얻을 수 있다.

## Abstract

In this paper, we present a new interpolation scheme for image enhancement using nonlinear operator. In general, interpolation techniques are based on linear operators which are essentially lowpass filters, hence, they tend to blur fine details in the original image. In our approach, the operator itself balances the strength of its sharpening and noise suppressing components according to the properties of the input image data.

## 1. 서론

일반적으로 영상 보간은 디지털 영상(혹은 사진)의 복원이나 확대시 자주 사용되는 영상처리 기술이다. 또한 다중해상도 피라미달 코딩이나 IDTV 수신기 설계에 있어서 영상의 해상도를 향상시키기 위해 사용되기도 한다. 영상을 복원/확대할 경우, 영상의 해상도를 유지할 수 있는 단위면적당 최대의 샘플수는 Shannon

의 샘플링 이론에 의해 결정된다. 이론적으로 영상 복원에 있어서 샘플링 과정에서 소실된 고주파 성분의 정보는 재생이 불가능하다. 그러나 영상이란 임의의 신호가 아니라 특정한 물체를 묘사한 것이므로 이웃한 화소들을 비교 분석하여 물체의 형상을 추측한다면 샘플링시 소실된 고주파의 상세모습을 재현할 수 있다<sup>[16]</sup>. 특히 물체의 상세 정보는 에지에 집중되어 있어 주변 화소를 분석하여 부화소 단위로 에지를 추출할 수 있다면 샘플링 과정에서 잃어버린 고주파정보를 추측하는 결과가 되어 샘플링 이론의 한계를 극복할 수 있게 된다.

홍익대학교 전기공학과 (Dept. of Electrical Engineering, HongIk Univ.)

\* 충북대학교 전기공학과 (Dept. of Electrical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ)

<접수일자 : 1998년 8월 3일>

지난 10년동안, 많은 보간 기법들이 개발되어 발표

되었다. 컴퓨터의 계산 능력이 향상됨에 따라 최근에는 물체의 형상을 기반으로 하는 비선형 보간 기술<sup>[5]</sup>이 주목받고 있다. 이러한 비선형 보간 알고리즘들은 대부분 물체의 에지를 이용하여 소실된 고주파 정보를 어느 정도 복원하고 있다. 보간과 보외에 퍼지 논리를 적용하여 영상내에 산재한 블록 로스들을 복구하는 알고리즘들도<sup>[6-10]</sup> 다수 발표 되었다.

Block-based coding system<sup>[7]</sup>에서 정보 손실을 복구하기 위한 보간 알고리즘도 개발되고 있다. 문헌을 보면 2D영상 보간의 경우 일반적으로, 선형 연산자를 사용한다. 선형 연산자들은 특성상 저역 필터로서 영상 취득과정중 삽입된 고주파 성분의 잡음을 쉽게 제거할 수 있다는 장점이 있으나, 원영상의 세밀한 형상들을 뿌옇게 만드는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 잡음을 줄이는 동시에 미세한 에지부분을 선명하게 향상시키는 보간 기법을 소개한다. 제안하는 보간 알고리즘은 다음과 같이 수행된다. 우선, surface fitting 알고리즘을 이용하여 이웃하는 픽셀간에 내재한 에지 관련 정보를 도출한 후, 비선형 연산자를 사용하여 보간한다. 이 영상은 surface 연속성을 고려하여 수정함으로써 최적의 보간 결과를 도출한다. 시뮬레이션 결과를 보면 본 논문에서 소개되는 보간 알고리즘은 영상의 저주파 정보뿐만 아니라 소실된 고주파 정보도 일정량 복구하는 것을 볼 수 있다.

2. 보간 알고리즘의 기본

수학적으로, 샘플링 이론은 보간할 수 있는 최대한의 샘플수를 결정한다. 그러나 영상정보란 특정한 대상물을 묘사하는 것으로 임의의 데이터로 구성된 것이 아니라 일정한 형상을 묘사하는 그레이 레벨의 집합이다. 따라서, 형상을 기반으로 하는 비선형 보간 기법을 사용하여 영상을 해석한다면 이웃한 화소값들로부터 잃어버린 고주파 정보를 추측, 재생할 수 있다.

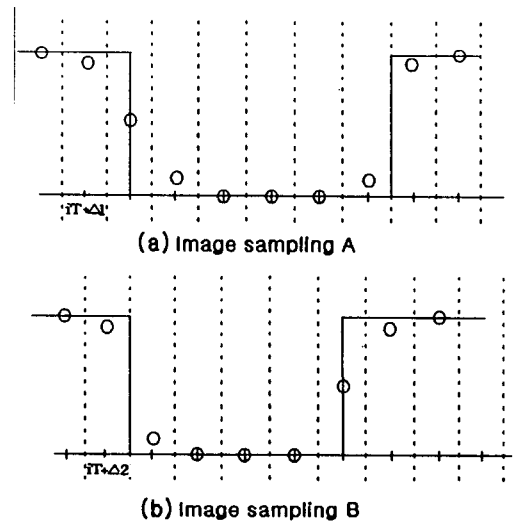
본 논문에서는 각 화소의 영상 값이 다음의 방정식과 같이 이루어진다고 가정한다.

$$f(i, j) = \int \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y)g(iT-x+\Delta, jT-y+\Delta)dx dy \quad (1)$$

여기서,  $f(i, j)$  는  $(i, j)$  번째 화소 값을 의미하며  $h(x, y)$  는  $(x, y)$  좌표에 대한 실제 물체의 그레이

레벨을 나타낸다.  $g(x, y)$  는 영상취득 시스템에서 렌즈 등이 표출하는 영상 획득 장치의 특성을 설명하는 대역통과 필터를 의미한다.  $g(x, y)$  는  $h(x, y)$  에 포함된 고주파 정보를 여과하는 기능을 한다. 이상적인 영상 취득 시스템의 경우  $g(x, y)$  는 임펄스 함수라 할 수 있으나 실제로는 초점의 불일치 등으로 인하여 가우시안 함수로 모델링 된다. T는 해상도를 결정하는 샘플링 간격이며  $\Delta$  은 샘플링시 offset을 결정한다. 이러한 모델은 렌즈를 통과하여 얻어지는 영상을 정확하게 묘사할 수 있다<sup>[15,16]</sup>.

그림 1은 방정식 (1)을 적용한 1차원 영상을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 (a)와 (b)는 똑같은 모양의 에지를 나타내고 있으나  $g(x, y)$  의 offset  $\Delta$  에 따라 미묘한 차이를 보여준다. 그림 1(a)의 경우 샘플링 위치에 따라 처음 에지 부분은 희뿌옇게 나타나지만 두 번째 에지 부분은 선명하게 묘사된다. 반대로 그림 1(b)는 첫 번째 에지는 선명하게 보이지만 두 번째 에지는 희뿌옇게 되는 현상이 일어난다. 그림 1과 같은 현상은 2차원 영상의 경우도 샘플링 위치에 따라 마찬가지로 적용된다.



실선 : 실제 물체  $h(i)$   
o : 샘플링 영상의 gray level value

그림 1. 영상 샘플링  
Fig. 1. Image sampling

그림 1과 같이 얻어지는 영상 데이터는 보간되어질 픽셀 x와 인접한 픽셀들의 비선형 평균값을 계산함으

로써 에지를 향상시키며 보간할 수 있다. 그림 2와 같이 1-D영상을 이용한 보간 알고리즘을 고찰해 보자. 그림 2의 (a), (b), (c)는 각각  $g(x, y)$  가 임펄스 함수인 고해상도 영상, 가우시안 필터링 된 실제 영상 데이터, 그리고 우리가 구하고자 하는 보간된 영상 데이터를 나타낸 것이다. 각 그림은 offset 크기에 따라 약간씩 서로 다른 두가지 결과를 예를 들고 있다. 그림 (b)를 보자. 첫 번째 영상에서 b와 c 사이에 보간되는 화소는 에지의 지붕에 속한다고 할 수 있으나 두 번째 영상의 경우엔 바닥에 속하는 화소이다. 따라서 보간 결과로 나타나는 영상은 (c)와 같이 나타나야 바람직하다. (c)에서의 x는 보간 되는 화소를 나타낸다. 물체의 형상을 기반으로 하는 비선형 보간 기법들은 주변 화소값들을 분석하여 영상에 내재되어 있는 물체의 형상 정보를 도출, 이용한다. 그림 2 (b)에서 화소 a와 b 사이의 변화율과 화소 c와 d 사이의 변화율을 분석하면 (c)의 결과를 쉽게 얻을 수 있다. 그림 (b)의 첫 번째 영상에서 a와 b는모두 에지의 지붕에 속하므로 작은 변화율을 갖는 반면에 에지에 있어 화소값이 왜곡된 c와 에지 바닥에 있는 d는 비교적 큰 값의 변화율을 갖는다. 영상이 식 (1)과 같이 모델링된다면 에지의 경계는 c 주변이라 할 수가 있으므로 b와 c사이에 보간되는 화소는 에지의 지붕에 속해야 하지만 c와 d 사이에 보간된 화소는 에지 바닥에 가까운 값을 가져야 할 것이다. 마찬가지로 두 번째의 영상은 에지의 경계가 b 주변에 있으므로 a와 b사이에 보간되는 화소는 에지의 지붕에 속하는 반면에 b와 c사이에 보간되는 화소가 에지 바닥에 속하게 된다[15]. 이러한 사실은 다음과 같은 비선형연산자를 사용하면 손쉽게 표현할 수 있다. 보간되는 화소값을  $x$ 라하자.

$$x = \mu b + (1 - \mu)c, \tag{2}$$

$\mu$  는 0과 1사이의 값을 갖는 weithing factor로서 다음 식으로 정의한다.

$$\mu = \frac{k(c-d)^2 + 1}{k((a-b)^2 + (c-d)^2) + 2}$$

$k$  는 연산자를 조절하는 양의 값을 갖는 사용자 정의 변수로서 보간하고자 하는 화소주변 좌우 변화량에 따라 어느 한쪽 방향을 강조하는 역할을 한다.  $k = 0$ 면

선형 연산자가 얻어진다.

에지의 경계가 정확히 b와 c 중앙에 위치하는 경우에는  $a-b = c-d$ 되어  $x = (b+c)/2$ , 즉, 보간되는 화소는 b와 c의 중앙에 위치하게

되어 일반적인 선형연산자를 적용한 경우와 동일한 결과가 나타난다. 에지가 b와 c 어느 한쪽으로 치우치게 되면  $a-b \neq c-d$ 가 된다. 예를들면, 만약 에지가 b보다 c에 가깝게 존재한다면,  $a-b < c-d$ 가 되어  $\mu > 0.5$ , 즉,  $x \simeq b$ 가 된다. 결과적으로  $\mu$  는 b와 c사이에 존재하는 에지의 위치를 정규화하여 표현한다고 할 수 있다[16]. 이러한 보간 방법은 매우 효율적이거나 단점도 많이 갖고 있다. 영상이 식 (1)로 모델링되었다는 전제로 보간을 하는 반면, 원 영상값은 바로 사용하기 때문에 식 (1)에 의하여 고주파 성분이 소실된 원 영상을 복원하기가 매우 어렵게 된다. 심한 경우, 보간을통하여 새로운 고주파 노이즈가 추가로 삽입 될 수도 있다.

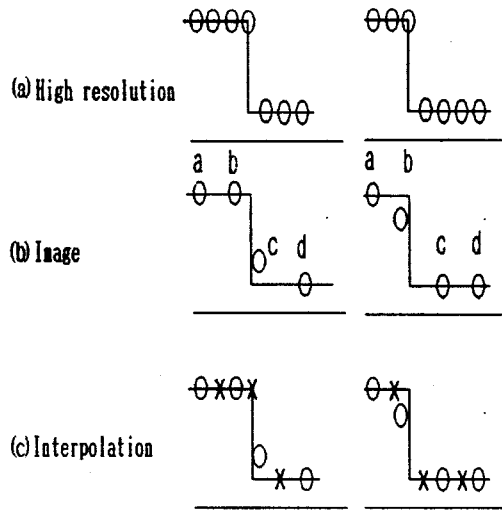


그림 2. 영상 보간 개요  
Fig. 2. Basic idea of image interpolation

### 3. 제안하는 보간 알고리즘

일반적인 영상 보간 방법들은 그림 3 (a)와 같이 원 영상의 화소 사이사이에 새로운 화소를 추가한다. 그러나 본 논문에서는 개개의 화소가 식 (1)에 따라 주변 일정 영역을 대표한다는 가정하에 그림 3 (b)에서 보는 바와 같이 대표하는 영역을 분할하는 방법을 이용하여

보간한다. 그림 (b)에서 점선 부분을 대표하는 화소 ⊕ 가 4개의 화소 ×로 분리되는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제시하는 이러한 방법은 보간이라기 보다는 오히려 '화소의 분할'이라고도 할 수 있다. 이점을 고려하여 앞으로 분할된 화소 ×를 부화소라 하자. 본 논문에서 제시하는 영상 보간은 2단계 과정을 거쳐 진행된다. 우선 그림 3 (b)의 4개의 부화소 ×를 구한다. 부화소 값들이 구해지면 이 값들을 대표하는 것이 화소 ⊕임을 고려, 2단계 과정을 통하여 앞서 구한 화소값 ×들을 수정한다.

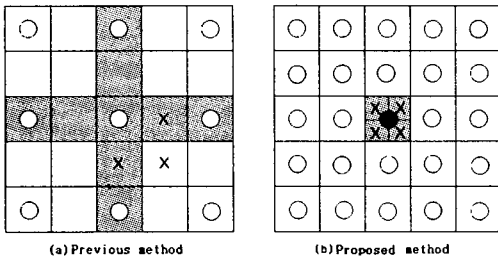


그림 3. 영상 interpolation  
Fig. 3. Image Interpolation

그림을 이용하여 보간 과정을 상세히 알아보기로 하자. 그림 4~6은 각각 흔히 볼 수 있는 세가지 형태의 에지를 포함한 영상을 묘사한 것이다. 그림 4와 5는 sharpening 정도에 따른 두가지 일반적인 형태의 에지를 보여주고 있다. 그림 6은 그림 4나 5에 비해 흔히 나타나는 에지의 모습은 아니나 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 효과를 손쉽게 알아볼 수 있게 하므로 추가하였다. 편의를 위하여 화소값은 [0, 1]로 정규화하자. 원 영상에서 ■, □, □은 각각 1, 1/2, 0의 화소값을 가진 화소들을 나타내며, 보간된 영상에서 ○, ⊖, ⊗, ⊘, ●는 각각 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1의 부화소를 의미한다.

1단계에서는 우선 부화소들에 대한 수평과 수직방향의 성분을 그림 3에서 소개한 방법을 사용하여 구하고 이들의 평균 값을 부화소 값으로 정한다.  $f(i, j)$ 의 화소를 보간한다고 가정하자. 각각의 경계면을 고려하여 부화소의 위치에 따라 offset을 조정한다.  $f(i, j)$  좌상에 위치한 부화소의 수평 성분은 4개의 화소,  $f(i-2, j), f(i-1, j), f(i, j), f(i+1, j)$ 를 이용하여 구한다. 좌상에서 보간되는 화소를 HI이라 하

면 다음과 같이 구해진다,

$$HI = \mu f(i-1, j) + (1-\mu)f(i, j),$$

$$\mu = \frac{(f(i, j) - f(i+1, j))^2 + 1}{((f(i-2, j) - f(i-1, j))^2 + (f(i, j) - f(i+1, j))^2) + 2} \quad (3)$$

우상에 위치한 부화소의 수평성분은  $f(i-1, j), f(i, j), f(i+1, j), f(i+2, j)$ 를 이용하여 앞에서 설명한 방법을 적용해 위와 같은 식으로 구해진다. 그러나 좌상에 위치한 부화소와 우상에 위치한 부화소의 수직성분은 같은 크기의 offset을 갖게 되므로 모두  $f(i, j-2), f(i, j-1), f(i, j), f(i, j+1)$ 을 이용하여 구한다. 그림 4~6 (a)는 에지 모양에 따른 부화소의 수평과 수직방향에 대한 화소값을 나타내고 있다. 작은 원들은 부화소의 수평, 수직방향의 성분을 나타내며 화살표는 이들 성분을 구하기 위해 사용한 화소들을 표시한다. 그림 4의 경우 좌상에 위치한 부화소의 수평성분은 1의 값을 가지나 수직 성분은 0 값을 갖는다. 반면, 우상 부화소는 수직, 수평 모두가 0 값을 갖는다. 부화소에 대한 수평, 수직성분을 평균하면 좌상은 1/2, 우상은 0의 화소값이 도출된다. 그림 4 (b)는 1단계 과정을 통하여 얻어진 보간 결과를 보여준다. (a)에 비하여 에지의 폭이 반으로 줄어든 것을 볼 수 있다. 이는 원 영상 에지의 불확실성이 1/2로 줄어든다는 것을 의미한다. 그림 5와 6 (b)의 경우에는 약간의 희뿌연 현상을 볼 수 있으나 최악의 경우라 할지라도 원 영상의 불확실성인 한 개 화소폭 이상 뿌옇게 되는 경우는 발생하지 않는다.

1단계 과정이 완료되면 부화소들을 보정한다. 원 화소들은 4개의 부화소들을 대표한다. 그림 4의 경우 원 화소값은 1/2로서 각각 1, 1/2, 1/2, 0의 화소값을 갖는 4개의 부화소들을 잘 대표하고 있다. 그러나 그림 5와 6의 경우는 원 화소가 부화소들을 적절히 대표하지 않는다. 그림 5의 경우 화소값이 1인  $f(i, j)$ 의 부화소들은 1, 3/4, 3/4, 1/2 (평균 3/4)의 화소값을 갖는 반면에 화소값이 0인  $f(i+1, j)$ 의 부화소들은 1/2, 1/4, 1/4, 0 (평균 1/4)의 화소값을 갖는다.

2단계 과정에서는 부화소 값들을 조정하여 원 영상이 이들을 대표할 수 있도록 한다.  $f(i, j)$ 의 부화소 값들은 상향 조정하며  $f(i+1, j)$ 의 부화소값들은 하향 조정한다.

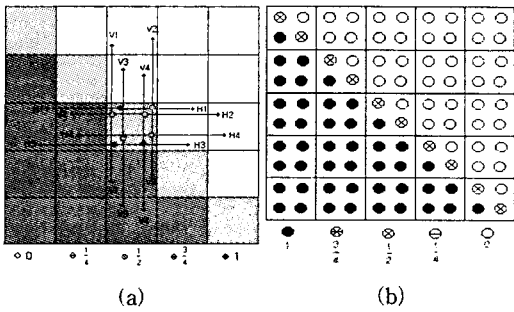


그림 4. 영상 보간 (경우 1)

Fig. 4. Interpolation Scheme (case 1)

원 화소가 부화소들을 대표하고 있는 바, 2차 보정이 필요하지 않다.

#### 4. 실험

본 실험에서는 영상처리에 있어 가장 많이 사용하는 레나 영상을 이용하여 실험하였다. 실험 결과를 비교하기 위하여 512x512 레나 영상을 이상적인 물체라 가정

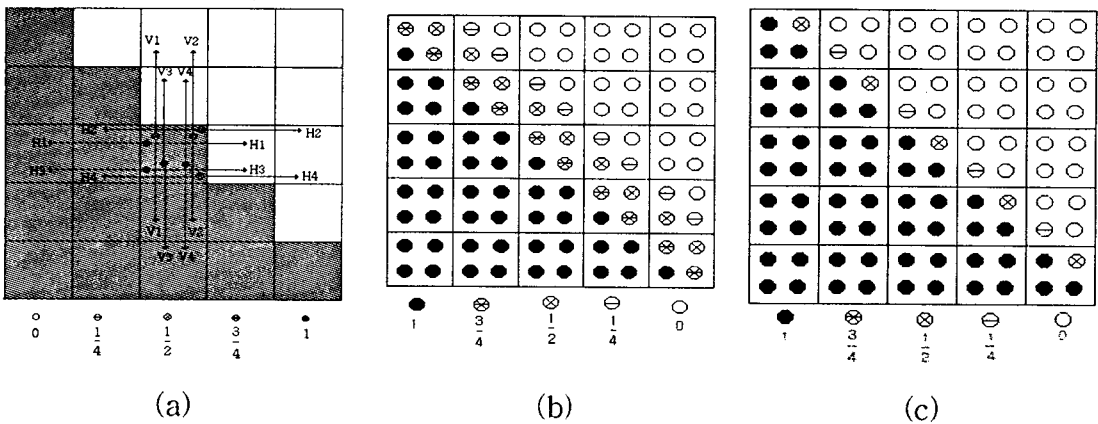


그림 5. 영상 보간 (경우 2)

Fig. 5. Interpolation Scheme (case 2)

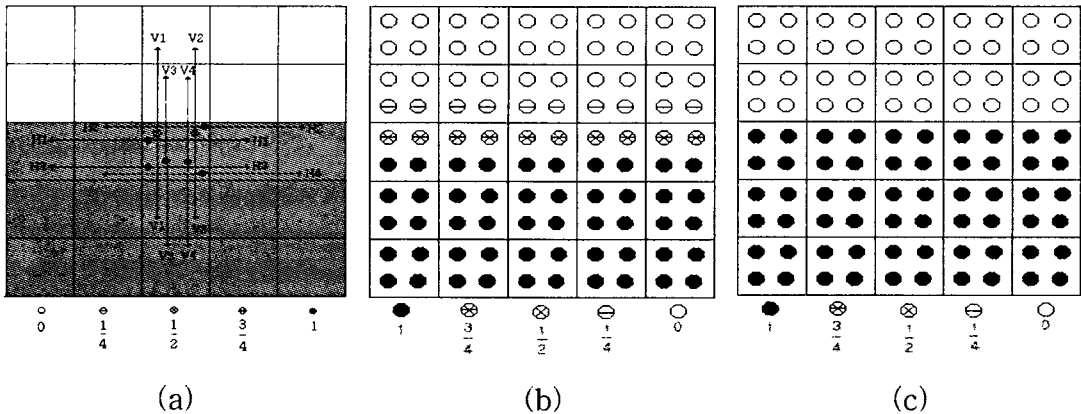


그림 6. 영상 보간 (경우 3)

Fig. 6. Interpolation Scheme (case 3)

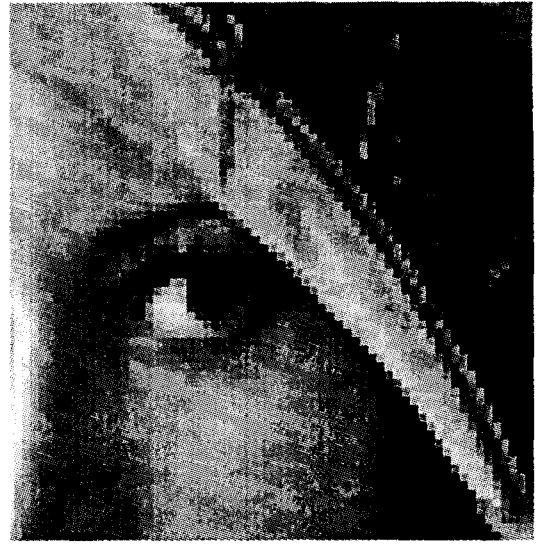
그림 5와 6 (c)는부화소 값들을 보정한 결과를 보여준다. 그림을 보면 부화소 단위로 에지가 보전되며 영상이 보간되는 것을 볼 수 있다. 그림 4의 경우에는

하고 인접한 4개의 화소들을 평균하여 만든 256x256 레나 영상을 카메라로부터 얻어지는 원 영상으로 간주한다. 이렇게 얻어진 256x256 영상은 각각 일반적인 방



(a) Ideal image ( 512×512 Lenna )

그림 7의 (a)



(b) Raw image ( 256×256 Lenna)

그림 7의 (b)



(c) Bilinear interpolation

그림 7의 (c)

그림 7. 영상보간 결과

Fig. 7. Interpolation result

표 1. SNR의 비교 ( dB )

Table 1. SNR



(d) Proposed interpolation

그림 7의 (d)

type of operator	interpolation by neighboring pixel	bilinear operator	the proposed operator
SNR	2.982943e+001	3.406590e+001	3.674985e+001

법, bilinear 보간, 그리고 본 논문에서 개발된 보간 알고리즘을 사용하여 512x512 레나로 보간한 후 원래의 512x512 레나 영상과 비교하였다.

그림 7의 (a)는 원래의 512x512 영상을, (b)는 본 논문에서 실험에 사용한 256x256 레나 영상을 보여준다. 그림 (c)는 bilinear 선형연산자로 보간한 512x512 영상을 나타내고 있다. 그림 (d)는 본 논문에서 제안한 비선형 연산자를 사용하여 보간한 512x512 레나 영상을 보여준다. 그림 7(b)를 보면 원래의 레나 영상의 픽셀을 평균하여 만들어낸 256x256 레나 영상에는 다양한 형태의 에지가 포함되어 있음을 볼 수 있다. 눈과 모자의 경계 위쪽 등에는 앞절에서 기술한 그림 4~6의 모든 에지들이 섞여서 나타나고, 모자의 경계 아래쪽 에지 부분에는 부분적으로 그림 5의 에지가 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 전체적으로 원래의 레나 영상과 비교할 때 해상도가 낮고 에지가 불분명하다. 다시 말하면 에지의 불확실성이 높다고 할 수 있다.

보간 결과를 보면, 본 논문에서 제안한 비선형 연산자를 사용하여 512x512영상으로 보간한 레나 영상인 그림 7(d)의 경우 특히 눈과 모자의 경계 에지의 localization이 일어나 섬세하게 보간되어 해상도가 향상되었음을 볼 수 있다. 선형연산자로 보간한 그림 7(c)와 본 논문에서 제안한 방식을 이용하여 보간한 그림 7(d)를 비교해 볼 때 (c)의 영상은 전체적으로 선형연산자의 단점 중에 하나인 회썬현상이 일어나고, 눈과 모자의 에지 부분에 있어서의 선명도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림(d)는 전체적으로 선형연산자로 보간한 영상보다 에지의 해상도를 확실히 향상시켰으나 이상적인 영상 그림 7(a)와 bilinear 연산자로 보간한 그림 7(c)에서 볼 수 없었던 계단 현상이 국부적으로 나타남을 볼 수 있다.

표 1은 보간 결과에 대한 SNR을 구한 것이다. 다른 방법에 비하여 제시하는 알고리즘이 보다 바람직한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나, 본 논문에서 제안한 비선형 연산자를 사용하여 방법으로도 그림 (a) 처럼 원래의 데이터를 완벽히 복구하기란 불가능한 일이다.

샘플링 시 고주파 성분이 소실된 256x256 영상으로부터 잃어버린 고주파 정보를 완벽히 복구할 수는 없다.

## 5. 결론

본 논문에서는 비선형 연산자를 이용하여 해상도를 향상시키는 새로운 보간 기법을 제시하였다. 일반적인 보간 기법은 선형 연산자를 이용한 지역필터를 사용함으로써 영상 취득과정중 삽입된 고주파 성분의 잡음을 쉽게 제거할 수 있다는 장점이 있으나 원 영상의 고주파 성분에 대한 정보를 잃어버리고 영상의 세밀한 형상들을 뿌옇게 만드는 단점을 갖고 있었다. 그러나 본 논문에서 제시한 보간 알고리즘은 비선형 연산자를 이용하여 입력 영상 데이터의 성질에 따라 고주파성분과 저주파 성분을 달리 조절함으로써 원래 영상에 가까운 해상도를 얻을 수 있다. 레나 영상을 이용한 시뮬레이션을 통하여 제시한 알고리즘의 효과를 확인하였다. 실험 결과를 보면 본 논문에서 제안된 보간 알고리즘은 영상의 저주파 정보뿐만 아니라 소실된 고주파 정보도 일정량 복구하는 것을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제시한 방법은 영상 개선, 부화소 에지 검출과 필터링 같은 여러 종류의 영상처리에 적용할 수 있으리라 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel Edge Localization and the Interpolation of Still Images", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 3, pp. 285~295, 1995.
- [2] R. Krishnapuram and J.M. Keller, "Fuzzy Set Theoretic Approach to Computer Vision: an Overview", Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Diego, CA, U.S.A., pp. 135~142, Mar. 1992.
- [3] X. Lee, Y. Zhang, and A. Leon-Garcia, "Information Loss Recovery for Block-Based Image Coding Techniques-A Fuzzy Approach", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 3, pp. 259~273, 1995.
- [4] S.K. Pul, "Fuzzy Sets in Image Processing and Recognition", Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Diego, CA, U.S.A., pp. 119~126, Mar, 1992.
- [4] F. Russo, "A New Class of Fuzzy Operators for Image Processing: Design and Implementation", Proc. Second IEEE Int. Conf. on Fuzzy

Systems, San Francisco, CA, U.S.A., pp. 815~820, Apr. 1993.

[5] F. Russo and G. Ramponi, "A Fuzzy Operator for the Enhancement of Blurred and Noisy Images", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 8, pp. 1169~1174, 1995.

[6] Y. Wong, "Dynamic Range Compression by Edge-Oreserving Filtering", IEEE Signal Processing Letters, vol. 1, no. 11, pp. 179~181, 1994.

[7] You, "A Robust Adaptive Estimation for Filtering Noise in Images", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, no. 5, pp. 693~699, May 1995.

[8] Sergio Carrato, Giovanni Ramponi, and Stefano Marsi, "A Simple Edge\_Sensitive Image Interpolation Filter", IEEE Int. Conf., pp. 711~714, 1996

[9] Ping Wah Wong and Cormac Herley, "AREA-BASED INTERPOLATION FOR SCALING OF IMAGES FROM A CCD", IEEE Int. Conf., pp. 905~908, 1997

[10] T.J. Connolly and R.G. Lane, "Gradient methods for Superresolution", IEEE Int. Conf., pp. 917~920, 1997

[11] J.A.Zandhuis, D.Pycock, S.F. Quigley, P.W.Webb, "Sub-pixel non-parametric PSF estimation for image enhancement", IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol. 144, No. 5, Oct., 1997

[12] Philippe Thevenaz, Urs E. Ruttimann, and Michael Unser, "A Pyramid Approach to Subpixel Registration Based on Intensity", IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 7, No. 1, Jan., 1998

著 者 紹 介



**梁 雨 錫 (Woo Suk Yang)**  
 1979년 서울대 전기공학과 졸업  
 1990년 미국 North Carolina State Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 졸업  
 1978년 - 1884년 (주) 대우  
 1990년 - 1991년 금성사 생산기술

연구소 책임연구원 (부장)  
 현재 홍익대학교 전기공학과 부교수  
 주관심분야 : 로보틱스, 컴퓨터비전, FA



**姜 金 芙 (Keum Boo Kang)**  
 1988년 충북대 전기공학과 졸업  
 1993년 충북대 대학원 전기공학과 석사 졸업  
 1995년 충북대 대학원 전기공학과 박사 수료

현재 홍익대학교 충청대학 강사  
 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전

**崔 載 昊 (Jae Ho Choi)**

1979년 서울대 전기공학과 졸업  
 1981년 서울대 대학원 전기공학과 석사 졸업  
 1989년 서울대 대학원 전기공학과 박사 졸업  
 현재 충북대 전기공학과 정교수  
 주관심분야 : FA



**李 鍾 守 (Jong Soo Lee)**  
 1998년 홍익대 전기공학과 졸업  
 현재 홍익대 대학원 전기공학과 석사과정 재학중  
 주관심분야 : 영상처리, 디지털 제어, 컴퓨터비전