디지털산업정보학회 논문지 제16권 제3호-2020년 9월
http://dx.doi.org/10.17662/ksdim.2020.16.3.049

이미지 보간기법의 성능 개선을 위한 비국부평균 기반의 후처리 기법*

김 동 형**

Non-Local Mean based Post Processing Scheme for Performance Enhancement of Image Interpolation Method

Kim, Donghyung

〈Abstract〉

Image interpolation, a technology that converts low resolution images into high resolution images, has been widely used in various image processing fields such as CCTV, web-cam, and medical imaging. This technique is based on the fact that the statistical distributions of the white Gaussian noise and the difference between the interpolated image and the original image is similar to each other. The proposed algorithm is composed of three steps. In first, the interpolated image is derived by random image interpolation. In second, we derive weighting functions that are used to apply non-local mean filtering. In the final step, the prediction error is corrected by performing non-local mean filtering by applying the selected weighting function. It can be considered as a post-processing algorithm to further reduce the prediction error after applying an arbitrary image interpolation algorithm. Simulation results show that the proposed method yields reasonable performance.

Key Words : Image Interpolation, Non-Local Mean Filtering, Weight Function, Post-Processing, Nearest Neighbor Interpolation, Bi-Linear Interpolation, Bi-Cubic Interpolation

Ⅰ. 서론

저해상도(low resolution) 이미지를 고해상도 이미지(high resolution) 이미지로 변환하는 기술인 이미지 보간(interpolation) 기술은 CCTV, 웹캠, 의료영상 등의 다양한 영상처리 분야에 광범위하게 사용되어 왔다. 대표적인 이미지 보간 기법에는 주변의 가장 가까운 위치의 저해상도 화소값으로 보간을 수행하는 최근접 화소보간법(NNI, nearest neighbor interpolation)과 주변 화소값들을 잇는 1차 직선상의 값으로 보간위치 화소값을 예측하는 양선형보간법(BLI, bi-linear interpolation), 그리고 주변 4개의 화소 값을 잇는 3차원 곡선상의 값으로 보간을 수행하는 양입방보간법(BCI, bi-cubic interpolation)을 들 수 있다[1, 2].

최근에는 공간영역(spatial domain)이 아닌 DCT 영역에서의 보간 수행 방법[3, 4]과 웨이블릿 영역에서의 보간 방법[5-7]들도 소개되었고 하드웨어의 발달

* 본 논문은 2020년도 1학기 한양여자대학교 교내연구비에 의하여 연구됨
** 한양여자대학교 컴퓨터정보과 부교수

로 머신러닝 기반의 보간 기법[8]도 제안되고 있다.

본 논문에서는 비국부평균(NLM, non-local mean) 필터링 기법을 사용한 공간영역에서의 이미지 보간 기법을 제안한다. 이는 임의의 이미지 보간 알고리즘을 적용하여 도출된 결과이미지와 원본이미지 사이의 오차가 백색 가우시안 잡음(white gaussian noise)의 통계적 분포가 유사함을 이용한 기술로 일반적으로 비국부 평균 필터링 방법은 이미지에 포함된 화이트 가우시안 잡음을 제거하는데 효과적인 기술이다.

제안하는 알고리즘은 크게 세 단계로 구성되어 있으며 첫 번째 단계에서는 임의의 이미지 보간 기법을 통해 보간된 이미지를 도출한다. 이후 두 번째 단계에서는 비국부평균 필터링을 적용하기 위해 사용되는 가중함수를 도출하는데 이때 이미지 보간에 적합하도록 기존의 비국부평균 가중함수를 수정하여 적용한다. 마지막 단계에서는 두 번째 단계에서 선정된 가중함수를 적용하여 실제 비국부평균 필터링을 수행함으로써 예측오차를 보정한다. 즉, 제안하는 알고리즘은 임의의 이미지 보간 알고리즘의 적용 이후 예측오차를 추가로 줄이기 위한 후처리 알고리즘이라고 볼 수 있다.

논문의 구성은 2장에서 대표적인 이미지 보간 기법인 최근접화소보간법, 양선형보간법, 양입방보간법과 비국부평균 필터링 방법에 대해 기술하고 3장에서는 제안하는 알고리즘의 적용 배경과 알고리즘 적용 과정을 단계별로 기술한다. 4장에서는 8개의 실험이미지에 대해서 제안하는 알고리즘을 포함하여 여섯 가지의 방법에 대한 객관적 및 주관적 화질 실험 결과를 비교하며 마지막 절에서 결론을 맺는다.

II. 관련 이론

본 절에서는 이미지 보간을 위해서 사용되는 전통적인 보간방법으로 최근접화소보간법, 양선형보간법, 양입방보간법을 소개하고 본 논문의 주안점인 비국부평균필터링 기법에 대해 기술한다.

2.1 전통적인 이미지 보간기법

2.1.1 최근접화소보간법(NNI)

최근접화소보간법은 보간을 수행하고자 하는 위치에서 가장 가까운 저해상도 화소값으로 보간위치의 화소값을 예측하는 방법을 말한다. 1차원의 N개의 데이터를 보간하여 $2N$개의 데이터를 생성하는 경우 보간위치(i)에서의 화소 값은 식(1)과 같이 예측될 수 있다.

$$\hat{x}(i) = x(\underset{j}{argmin}\ (|i-j|)) \tag{1}$$

$$where,\ \ i = 1, 3, 5, ..., 2N-1 \quad j = 0, 2, 4, \cdots, 2N-2$$

여기서 i는 보간이 필요한 위치를 나타내며 j는 저해상도 데이터 위치를 나타낸다. 이러한 1차원 보간 방법을 가로 방향과 세로 방향으로 적용함으로써 2차원 이미지의 보간을 수행할 수 있다.

2.1.2 양선형보간법(BLI)

양선형보간방법 역시 1차원 선형보간법(1-D linear interpolation)을 가로방향과 세로방향으로 연속하여 적용한 방법이다. 1차원 선형보간방법은 인접한 좌우 두 화소값을 1차원 직선으로 연결선 직선상의 값으로 예측을 수행하는 것으로 2배 크기의 보간을 수행하는 경우 즉, 보간을 수행하고자 하는 화소의 위치가 저해상도 화소의 정중앙에 위치한 경우 식(2)와 같이 좌우 저해상도 화소값의 평균으로 보간위치의 화소값을 예측할 수 있다.

$$\hat{x}(i) = (x(i-1) + x(i+1))/2 \quad (2)$$
$$where,\ i = 1, 3, 5, \cdots, 2N-1$$

여기서 $i-1$ 위치와 $i+1$ 위치는 i의 위치 즉, 저해상도의 화소값 위치를 의미한다. 이러한 1차원 선형보간 방법을 가로 방향과 세로방향으로 연속하여 적용함으로써 양선형보간법을 적용한 보간 이미지를 구할 수 있다.

2.1.3 양입방보간법 (BCI)

앞서 기술한 양선형보간법 방법이 인접한 두 화소를 잇는 1차원 직선상의 값으로 예측을 수행하는 반면 양입방보간법은 인접한 4개의 화소값을 잇는 3차원 곡선상의 값으로 예측을 수행한다. 1차원 데이터에 대해서 입방보간법을 통한 예측값은 식(3)과 같다.

$$\hat{x}(i) = a \times 0.5^3 + b \times 0.5^2 + c \times 0.5 + d \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &where, \\ &a = -0.5 \times x(i-3) + 1.5x \times (i-1) \\ &\quad -1.5 \times x(i+1) + 0.5x \times (i+3) \\ &b = \quad 1 \times x(i-3) - 2.5x \times (i-1) \\ &\quad 2 \times x(i+1) - 0.5x \times (i+3) \\ &c = -0.5 \times x(i-3) + 0.5x \times (i+1) \\ &d = x(i-1) \\ &\text{for } i = 1, 3, 5, \cdots, 2N-1 \end{aligned}$$

여기서도 역시 $i-3$, $i-1$, $i+1$, $i+3$는 i의 위치 즉, 저해상도 화소값 위치를 의미한다. 다른 방법들과 마찬가지로 이러한 1차원 입방보간방법(1-D cubic interpolation)을 가로와 세로방향으로 연속하여 적용한 것이 양입방보간법이다.

2.2 비국부평균(non-local mean) 필터링

Buades등이 제안한 비국부평균(NLM, non-local mean) 필터링 방법[9]은 이미지에서 백색가우시안잡음(white-gaussian noise)을 제거하는데 효과적으로 사용되는 방법으로 이후 많은 잡음제거 알고리즘의 기본 이론으로 활용[10]되고 있다.

비국부평균 필터링 방법의 특징은 단순하고 직관적인 알고리즘에도 불구하고 높은 잡음제거 성능을 보이며 특히 원본이미지의 비국부 중복성(non-local redundancy)을 활용한다는 점이다. 비국부평균 알고리즘을 기술하는 과정에서 수식의 간결함을 위하여 1차원 영역에서 표현하고자 한다. 이미지로의 적용을 위해서는 동일한 개념을 2차원으로 그대로 확정하여 적용할 수 있다.

잡음이 포함되어 있지 않은 데이터를 $x(i)$라 하고 평균이 0이고 표준편차 σ를 가지는 독립동일분포(iid, independent and identically distributed) 가우시안 잡음을 $n(i)$라 하면, $y(i) = x(i) + n(i),\ i \in \Omega$와 같이 관측데이터를 표현할 수 있다. 여기서 Ω는 전체 데이터의 집합을 의미하는데 흑백 이미지의 경우 $x(i)$와 $y(i)$는 정수 값을 가지며 컬러 이미지의 경우 벡터의 값을 가질 것이다. 관측 데이터로부터 비국부평균필터를 이용한 추정값 $\hat{x}(i)$는 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\hat{x}(i) = \frac{\sum_{j \in \Omega_r} w(i,j) y(j)}{\sum_{j \in \Omega_r} w(i,j)} \quad (4)$$

여기서 Ω_r은 i 위치의 값과 비교대상이 되는 영역에 속한 위치집합으로서 최초 제안된 비국부평균 필터 기법의 경우 전체 데이터 영역 즉, $\Omega_r = \Omega$를 고려하였으나 이후 연구를 통해 전체 데이터 영역 대신 i 위치의 주변영역에 한정하는 것이 보다 높은 성능을 보이는 것으로 나타났다[11-14]. 또한 $w(i,j)$는 i 위치와 j 위치 사이의 데이터 유사성에 따라 결정되는 가중함수(weight function)로 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$w(i,j) = \exp(-\frac{\|y(i)-y(j)\|^2}{2h^2}) \quad (5)$$

여기서, h는 가중함수에 대한 사용자입력 파라미터이며, $\|y(i)-y(j)\|$는 위치 i 위치와 j 위치 데이터 값들 간의 유클리드 거리를 나타내며 식 (6)과 같다.

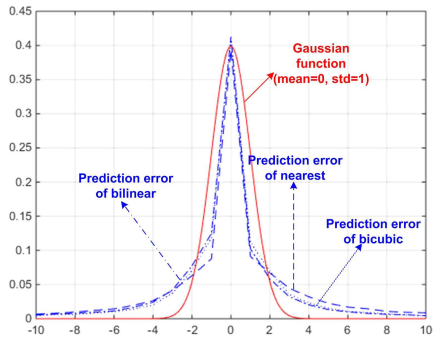
$$\|y(i)-y(j)\|^2 \quad (6)$$
$$= \sqrt{(y(i)-y(j))^T+(y(i)-y(j))}$$

위의 식(4)에서부터 식(6)이 의미하는 바를 직관적으로 살펴보면 i 위치에서의 추정된 데이터값 $\hat{x}(i)$는 다른 위치인 $j \in \Omega$에서의 데이터 값들의 가중평균을 취한 값으로 예측 가능함을 의미하며 이때 사용된 가중치는 데이터의 유사성이 높을수록 높은 가중치를 부여함을 의미한다. 마지막으로 식(4)의 분모항은 가중치들의 정규화를 위한 값, 즉 관측값($y(i)$)들의 평균과 예측값($\hat{x}(i)$)들의 평균을 유지하기 위해 적용된 항목이다.

III. 제안하는 알고리즘

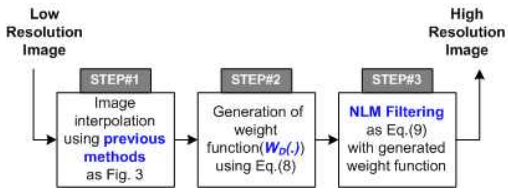
제안하는 알고리즘은 기존의 다양한 이미지 보간기법을 적용하여 예측한 결과이미지와 원본이미지간의 예측오차의 분포가 가우시안 분포 특성을 가진다는 점을 이용한다. 즉, 기존 다양한 보간 방법의 결과이미지는 원본이미지에 가우시안 분포 특성을 가지는 잡음이 포함된 것으로 간주할 수 있으며 이에 따라 잡음 제거 알고리즘의 적용으로 화질을 개선하고자 한다.

<그림 1>은 lenna.bmp 이미지에 대해서 최근접화소보간법, 양선형보간법, 양입방보간법으로 보간을 수행하였을 때 예측오차 분포와 평균이 0이과 표준편차가 1인 가우시안 함수의 그래프를 함께 도시하고 있다.



<그림 1> Lenna.bmp 이미지에 대해서 최근접화소보간법, 양선형보간법, 양입방보간법을 사용한 경우의 예측오차 분포 및 평균=0, 표준편차=1인 가우시안 함수의 비교

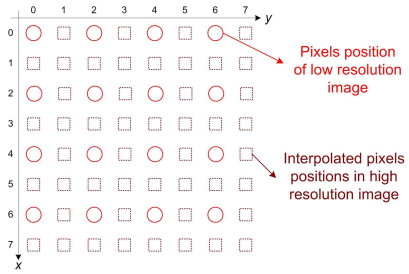
제안하는 알고리즘은 <그림 2>와 같이 크게 3단계로 구성되어 있다.



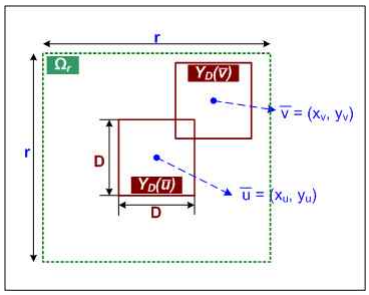
<그림 2> 제안하는 알고리즘의 블록다이어그램

첫 번째 단계에서는 기존의 여러 보간 알고리즘을 적용하여 보간을 수행한다. <그림 3>은 보간된 이미지의 구조를 나타내는데 원의 위치는 보간을 수행하기 전 저해상도 이미지의 화소값 위치를 나타내고 네모위치는 보간 알고리즘을 통해 보간을 수행한 화소의 위치를 나타낸다. 네모 위치의 보간을 수행하는 과정은 보간 방법에 따라 1차원 보간을 연속하여 수행(가로방향 및 세로방향)하거나 한번에 2차원 보간을 수행할 수도 있다.

첫 번째 단계를 통해 보간된 이미지에 비국부평균필터를 적용하기 위해 가중함수를 구하는 것이 두 번째 단계이다. 이때 제안하는 알고리즘에서는 성능향상을 위해 식(5)에 나타난 화소기반의 가중함수 대신에 블록



<그림 3> 저해상도 이미지의 보간 수행 이후 보간화소 위치 및 저해상도 화소 위치에 대한 이미지구조



<그림 4> 블록기반 비국부평균필터링 가중함수 계산을 위해 사용되는 블록의 크기(D×D) 및 탐색영역(r×r)

기반의 가중함수를 사용하며 이는 식(7)과 같다.

$$W_D(\bar{u},\bar{v}) = \exp(-\frac{\|Y_D(\bar{u}) - Y_D(\bar{v})\|^2}{2h^2}) \tag{7}$$

여기서 $\bar{u}=(x_u, y_u)$와 $\bar{v}=(x_v, y_v)$는 각각 보간 대상 위치와 이웃한 유사성비교 대상위치를 나타내는 벡터이고, $Y_D(\bar{u})$와 $Y_D(\bar{v})$는 <그림 4>에 나타나 있는 것처럼 각각 중심이 $\bar{u}$, $\bar{v}$이고 크기가 D인 블록을 의미한다. 이때 $\bar{u}$ 위치에서의 화소값을 보간하기 위해 유사성 비교에 사용되는 위치 $\bar{v}$는 중심이 $\bar{u}$이고 가로 및 세로의 크기가 r인 영역(Ω_r)내의 위치로 한정한다. 이 역시 <그림 4>를 통해 확인할 수 있다.

제안하는 알고리즘에서 가중함수 값을 구하기 위해 추가로 고려하는 사항은 화소값의 신뢰도이다. 즉, Ω_r 유사성 비교영역 내의 화소값에는 저해상도 화소값이 그대로 반영된 위치(<그림 3>의 원 위치)와 이를 기반으로 보간(예측)된 위치(<그림 3>의 네모위치)를 포함하고 있다. 따라서 저해상도 화소 위치와 비교하여 예측오차를 포함하고 있는 보간화소 위치는 상대적으로 낮은 신뢰도를 가질 것이다. 이를 반영하기 위해서 제안하는 알고리즘에서는 식(7)의 가중 함수 값에 대해서 식(8)과 같이 추가 보정을 수행한다.

$$W_D(\bar{u},\bar{v}) = \begin{cases} \exp(-\frac{\|Y_D(\bar{u}) - Y_D(\bar{v})\|^2}{2h^2})*\lambda \\ \quad , \text{for } x_v \text{ and } y_v \text{ are even.} \\ \exp(-\frac{\|Y_D(\bar{u}) - Y_D(\bar{v})\|^2}{2h^2}) \\ \quad , \text{else.} \end{cases} \tag{8}$$

```
--------------------------------
For N×M image
--------------------------------
loop x_u = 0 : N,
  loop y_u = 0 : M,

    loop x_v = -r/2 : r/2,
      loop y_v = -r/2 : r/2,

        if x_v mod 2 = 0 and y_v mod 2 = 0
          W_D(ū, v̄) = exp(-||Y_D(ū) - Y_D(v̄)||^2 / 2h^2) * λ
        else
          W_D(ū, v̄) = exp(-||Y_D(ū) - Y_D(v̄)||^2 / 2h^2)
      end
    end

    x̂(ū) = Σ_{v̄∈Ω_r} W_D(ū, v̄) y(v̄) / Σ_{v̄∈Ω_r} W_D(ū, v̄)

  end
end
--------------------------------
user parameters : h, λ
--------------------------------
```

<그림 5> 제안하는 알고리즘의 의사코드

<표 1> 실험에 사용된 파라미터, 보간방법에 대한 약어 표현

약어	의미
r	searchrange
D	windowsize
h	weight func. parameter
A	nearest
B	bilinear
C	bicubic
D	nearest + NLM Filtering
E	bilnear + NLM Filtering
F	bicubic + NLM Filtering

여기서 $\bar{v}=(x_v, y_v)$내의 x_v 및 y_v가 모두 짝수 위치의 경우(<그림3> 참조) 저해상도의 위치를 의미하며 λ는 상대가중파라미터(>1)를 의미한다.

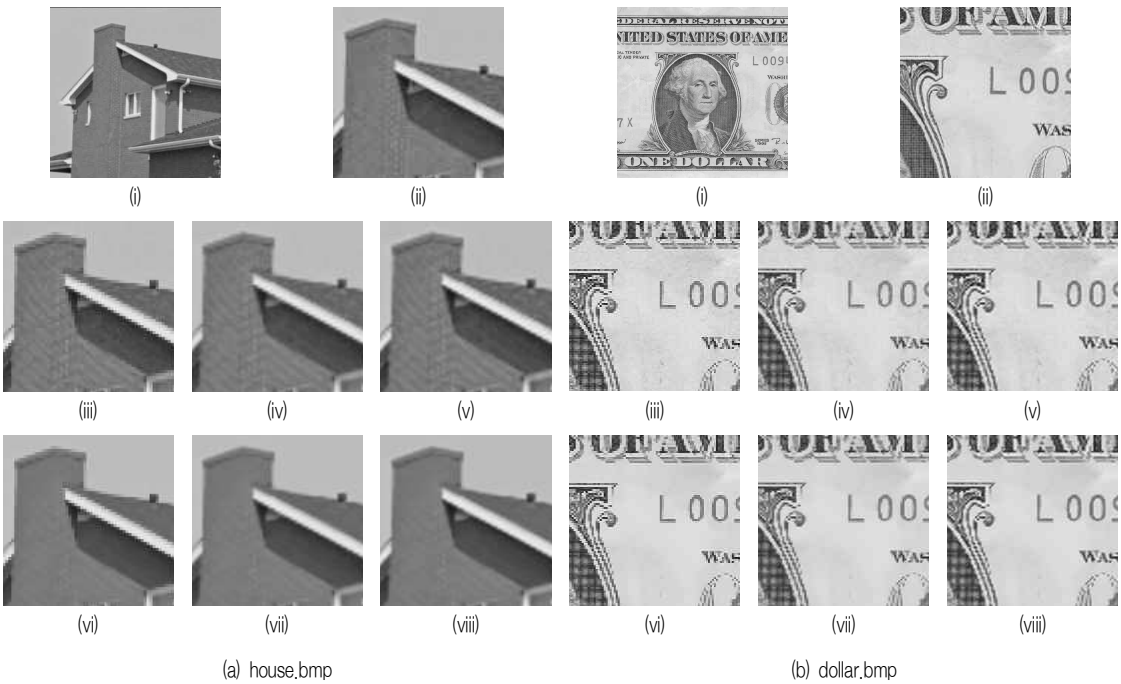
두 번째 단계에서 가중함수가 구해지면 마지막으로 식(9)를 이용하여 비국부평균 필터링을 통한 보간 화소값을 예측한다.

$$\hat{x}(\bar{u}) = \frac{\sum_{\bar{v}\in\Omega_r} W_D(\bar{u},\bar{v})y(\bar{v})}{\sum_{\bar{v}\in\Omega_r} W_D(\bar{u},\bar{v})} \tag{9}$$

이상의 결과를 의사코드로 표현하면 <그림 5>와 같다.

IV. 실험 및 분석 결과

제안하는 알고리즘의 성능검증을 위해 4개의 256×256 이미지(abcde.bmp, camera.bmp, house.bmp,



<그림 5> 2개의 테스트 이미지(house.bmp, dollar.bmp)에 대한 주관적 화질 비교 (i) 원본이미지 (ii) 원본이미지의 일부분 (iii) 최근접화소보간법(NNI) (iv) 양선형보간법(BLI) (v) 양입방보간법(BCI) (vi) 최근접화소보간법+비국부평균필터링 (vii) 양선형보간법+비국부평균필터링 (viii) 양입방보간법 + 비국부평균필터링

lenna.bmp)와 4개의 512×515 이미지(airfield.bmp, dollar.bmp, houses.bmp, pepper.bmp)에 대해서 실험을 수행하였다. 제안한 알고리즘의 3단계 프로세스 중 1단계에서 사용한 기존의 보간 방법으로는 가장 보편적으로 사용되는 최근접화소보간법, 양선형보간법, 양입방보간법을 사용하였으며, 각 보간법으로 보간된 영상의 예측값에 제안한 비국부평균 필터를 적용함으로써 예측오차를 보정하는 실험을 수행하였다. <표 1>은 이후 실험결과에 포함된 실험에 사용된 각 방법과 파라미터들의 약어표현을 나타낸다.

<표 2>는 탐색영역(r)=5, 블록크기(D)=5, 가중함수 설정파라미터(h)=2.5, 상대가중파라미터(λ)=10일 때 각 방법에 대하여 식(10)를 사용한 객관적 화질(PNSR)의 실험결과를 나타낸다. 여기서 m은 <표 1>에 포함된 6개의 방법을 의미한다.

$$PSNR = 20\log_{10}\left(\frac{255}{\sqrt{MSE}}\right) \quad (10)$$
$$where,$$
$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1}(x(i,j) - \hat{x}_m(i,j))$$
$$m = A, B, C, D, E, F$$

여기서 $x(i,j)$는 원본 이미지를 의미하며 $\widehat{x_m}(i,j)$은 <표 1>에 포함된 A부터 F까지 6개의 방법으로 보간을 수행한 예측 이미지를 말한다. 실험에 사용된 모든 영상에 대해서 예측오차가 줄어 객관적 화질이 증

<표 2> [r, D, h, λ] = [5, 2, 2.5, 10] 일때의 6개의 보간방법에 대한 객관적화질(PSNR) 비교

[r, D, h, λ] = [5, 2, 2.5, 10]

no.	res.	image	A	B	C	D	E	F	D-A	E-B	F-C
1	256 x 256	abcde	27.15	30.51	30.48	27.22	30.59	30.57	0.07	0.08	0.09
2		camera	22.44	25.52	25.49	22.73	25.54	25.54	0.29	0.02	0.05
3		house	25.88	30.82	30.95	26.14	31.02	31.2	0.26	0.20	0.25
4		lenna	26.7	31.4	31.71	27.16	31.58	31.92	0.46	0.18	0.21
5	512 x 512	airfield	22.28	26.1	26.21	22.88	26.13	26.3	0.60	0.03	0.09
6		dollar	17.29	19.37	19.12	17.49	19.38	19.2	0.20	0.01	0.08
7		houses	19.75	23.15	23.12	19.99	23.16	23.18	0.24	0.01	0.06
8		pepper	26.94	31.72	31.84	27.41	31.95	32.15	0.47	0.23	0.31
average			23.55	27.32	27.37	23.88	27.42	27.51	**0.32**	**0.09**	**0.14**

<표 3> [r, D, h, λ] = [5, 2, 5, 10] 일때의 6개의 보간방법에 대한 객관적화질(PSNR) 비교

[r, D, h, λ] = [5, 2, 5, 10]

no.	res.	image	A	B	C	D	E	F	D-A	E-B	F-C
1	256 x 256	abcde	27.15	30.51	30.48	27.22	30.59	30.57	0.07	0.08	0.09
2		camera	22.44	25.52	25.49	22.73	25.54	25.54	0.29	0.02	0.05
3		house	25.88	30.82	30.95	26.14	31.02	31.2	0.26	0.20	0.25
4		lenna	26.7	31.4	31.71	27.16	31.58	31.92	0.46	0.18	0.21
5	512 x 512	airfield	22.28	26.1	26.21	23.21	26.28	26.49	0.93	0.18	0.28
6		dollar	17.29	19.37	19.12	17.6	19.41	19.27	0.31	0.04	0.15
7		houses	19.75	23.15	23.12	20.15	23.25	23.29	0.40	0.10	0.17
8		pepper	26.94	31.72	31.84	27.75	32.14	32.32	0.81	0.42	0.48
average			23.55	27.32	27.37	24.00	27.48	27.58	**0.44**	**0.15**	**0.21**

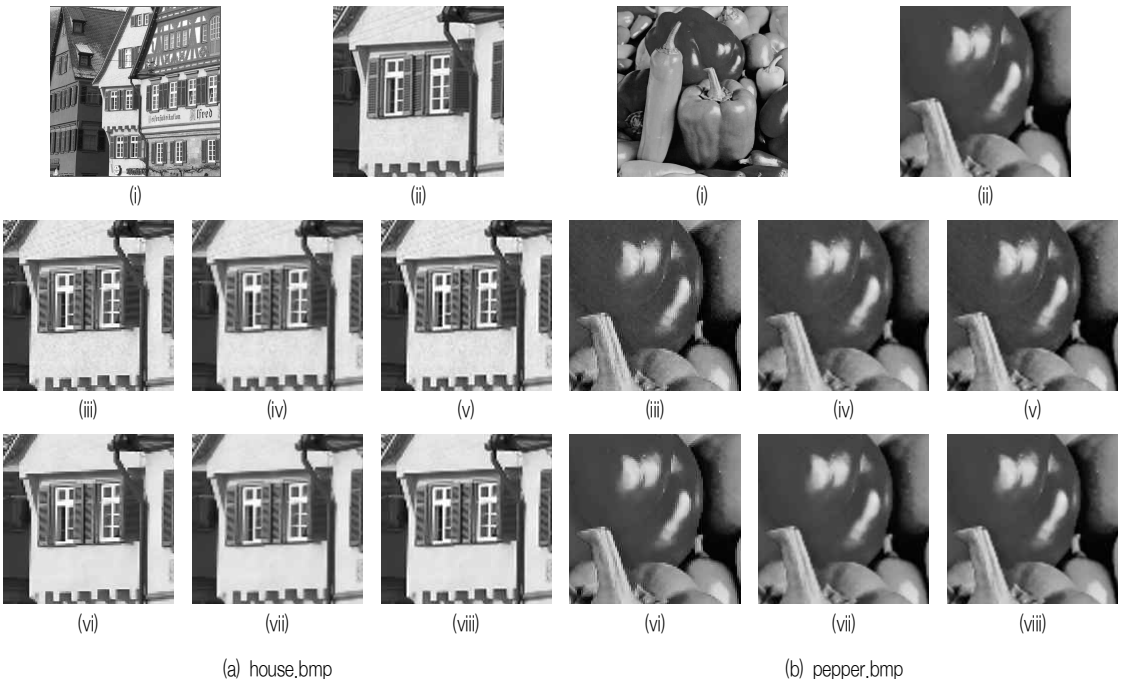
가한 것을 알 수 있으며 예측오차가 클수록 들은 것을 객관적 화질의 향상정도가 증가하는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 <그림 5> 및 <그림 6>은 A~F까지 방법에 대한 주관적 화질을 비교하고 있다. 확대영상에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 기존의 방법들과 비교하여 비국부평균필터링을 적용한 제안한 보간 방법이 보다 높은 주관적 화질을 가짐을 알 수 있다.

IV. 결론 및 향후연구

비국부평균 필터링 방법은 화이트 가우시안 잡음을 포함하고 있는 이미지의 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 알고리즘이다. 본 논문에서는 이전의 다양한 보간 알고리즘을 통해 예측된 보간 이미지의 오차 성분이 화이트 가우시안 노이즈의 특성과 유사한 성질을 이용하여 기존의 비국부평균 필터링 방법을 보간예측의 보정에 맞도록 수정하여 적용함으로서 예측오차를 줄일 수 있었다. 이를 통해 객관적 화질의 향상은 물론 주관적 화질 또한 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 흑백이미지에 한정하여 적용하였으나 향후 RGB 컬러이미지로의 확대 및 입력 이미지의 통계적 특성을 이용한 사용자 파라미터(h, 람다)의 적응적 선정방법에 대한 연구를 확장하고자 한다.



<그림 6> 2개의 테스트 이미지(houses.bmp, pepper.bmp)에 대한 주관적 화질 비교 (i) 원본이미지 (ii) 원본이미지의 일부분 (iii) 최근접화소보간법(NNI) (iv) 양선형보간법(BLI) (v) 양입방보간법(BCI) (vi) 최근접화소보간법+비국부평균필터링 (vii) 양선형보간법+비국부평균필터링 (viii) 양입방보간법 + 비국부평균필터링

참고문헌

[1] F. A. Jassim and F. H Altaany., "Image Interpolation Using Kriging Technique For Spatial Data," Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision, Vol.4, No.2, 2013, pp.16-21.

[2] R Roy., M Pal. and T Gulati., "Zooming Digital Images Using Interpolation Techniques," International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM), Vol.2, No.4, 2013, pp.34-45.

[3] M. R Choi, S. J. Ko, and G. R. Kwon, "Color Image Interpolation in the DCT Domain Using a Wavelet-based Differential Value," Multimedia Tools and Applications, Vol.77, No.16, 2018, pp.21539-21556.

[4] S. R. Aswathy, C. Reshmalakshmi, "Enhanced DCT Interpolation for Better 2D Image Up-Sampling," International Journal of Engineering Research & Technology, Vol.4, No.6, 2015, pp.672-676.

[5] H. Demirel, G. Anbarjafari, "Image Resolution Enhancement By Using Discrete and Stationary Wavelet Decomposition.," IEEE Transaction on Image Process, Vol.20, No.5, 2011, pp.1458–1460.

[6] R. S Asamwar. K. M. Bhurchandi and A. S Gandhi., "Interpolation of Images Using Discrete Wavelet Transform to Simulate Image Resizing as in Human Vision," International Journal of Automation and Computing, Vol.7, No.1, 2010, pp.9-16.

[7] Y. C. Fan and Y. F. Chiang, "Discrete Wavelet Transform on Color Picture Interpolation of Digital Still Camera," VLSI Design, Article ID 738057, 2013, pp.1-9.

[8] 김동형, "이미지 보간을 위한 의사결정나무 분류 기법의 적용 및 구현," 디지털산업정보학회논문지, 제16권, 제1호, 2020, pp.55-65.

[9] A. Buades, B. Coll, and J.M. Morel, "A Review of Image Denoising Algorithms, with a New One," Multiscale Modeling & Simulation, Vol.4, No.2, 2005, pp.490-530.

[10] A. Buades, B. Coll, and J. M. Morel, "Image Denoising Methods. A New Nonlocal Principle," Siam Review, Vol.52, No.1, 2010, pp.113-147.

[11] G. Gilboa and S. Osher, "Nonlocal Linear Image Regularization and Supervised Segmentation," Multiscale Modeling, Vol.6, No.2, 2007, pp.595-630.

[12] S. Grewenig, S. Zimmer, and J. Weickert, "Rotationally Invariant Similarity Measures for Nonlocal Image Denoising," Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol.22, No.2, 2011, pp.117-130.

[13] J. Salmon, "On Two Parameters for Denoising with Non-local Means," Signal Processing Letters, Vol.17, No.3, 2010, pp.269-272.

[14] T. Tasdizen, "Principal Neighborhoods Dictionaries for Nonlocal Means Image Denoising," IEEE Transactions on Image Processing, Vol.18, No.12, 2009, pp.2649-2660.

■ 저자소개 ■

김동형
(Kim, Donghyung)

2011년 3월~현재 한양여자대학교 컴퓨터정보과 부교수
2008년 9월 한라대학교 정보통신방송공학부 조교수
2007년 9월 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
2007년 8월 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학박사)
2001년 2월 충북대학교 전자공학과(공학석사)
1999년 2월 충북대학교 전자공학과(공학사)

관심분야 : 영상처리, 멀티미디어통신, 영상압축
E-mai : kimdh@hywoman.ac.kr

논문접수일 : 2020년 6월 10일
수 정 일 : 2020년 6월 22일
게재확정일 : 2020년 7월 4일