

영상의 단순 볼록 곡면과 단순 오목 곡면 특성을 이용한 확대 영상의 효율적인 화질 개선 기법

정 수 목*

An efficient quality improvement scheme for magnified image by using simple convex surface and simple concave surface characteristics in image

Soo-Mok Jung*

요 약

본 논문에서는 영상에 존재하는 단순 볼록 곡면과 단순 오목 곡면을 추정하기 위한 효과적인 기법을 제안하였고 이 기법을 확대하고자 하는 입력 영상에 적용하여 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 갖는지 추정한다. 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 갖는 경우, 곡면의 특성이 충실하게 반영되도록 보간값을 구하는 효율적인 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 기법들을 적용하여 구한 보간 픽셀값들을 사용하여 구성된 확대 영상은 기존의 기법들에 의한 확대 영상보다 실제 영상에 더욱 충실하게 된다. 제안된 기법을 적용하여 구성된 확대 영상의 화질을 측정하기 위하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 제안된 기법들을 적용한 확대 영상들의 PSNR값이 기존의 기법들을 적용한 확대 영상들의 PSNR값보다 큰 것을 실험을 통하여 확인하였다.

▶ Keywords : 이미지 확대, 보간, 양선형보간, PSNR

Abstract

In this paper, an effective scheme was proposed to estimate simple convex surface and simple concave surface which exist in image. This scheme is applied to input image to estimate simple convex surface or simple concave surface. When simple convex surface or simple concave surface exists, another proposed efficient interpolation scheme is used for the interpolated pixel to have the characteristics of simple convex surface or simple concave surface. The magnified image using

•제1저자 : 정수목

•투고일 : 2013. 10. 30, 심사일 : 2013. 11. 7, 게재확정일 : 2013. 11. 19.

* 삼육대학교 컴퓨터학부(Division of Computer Science and Engineering, Sahmyook University)

이 연구는 2012학년도 삼육대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

the proposed schemes is more similar to the real image than the magnified image using the previous schemes. The PSNR values of the magnified images using the proposed schemes are greater than those of the magnified images using the previous interpolation schemes.

▶ Keywords : Image magnification, Interpolation, Bilinear interpolation, PSNR

I. 서 론

디지털 영상의 확대나 복원 등에 널리 사용되고 있는 영상 보간은 중요한 기술로서 다양한 영상처리, 컴퓨터비전 등 여러 분야의 기반기술로 응용되고 있다[1]~[5]. 보간 기법을 적용하여 확대된 영상은 입력 영상에 있는 픽셀들인 기준 픽셀들과 입력 영상에 있는 기준 픽셀들을 사용하여 보간된 보간 픽셀들(interpolated pixels)로 구성된다. 따라서 보간된 픽셀들의 값이 실제 영상의 픽셀값에 가까울수록 확대 영상의 화질이 개선된다.

확대 영상의 화질을 개선하는 보간법으로 최근접 이웃 화소 보간법(Nearest Neighbor Interpolation), 스플라인 보간법(spline interpolation), 양선형 보간법(bi-linear interpolation), 3차회선 보간법(cubic convolution interpolation) 등이 있다[6][7][8]. 이러한 보간법은 지역적인 특성을 반영하지 못하는 한계가 있어 경계면에서 흐림 현상이 발생하는 단점이 있다.

3차 보간 기법이 선형 보간 기법에 비하여 우수한 성능을 보이기 때문에 보간 영상의 화질을 개선하기 위하여 제안된 적응 보간법(adaptive interpolation scheme) 구축 시 기본 모델을 3차 보간법에 두는 경우가 많다[9][10]. 그러나 선형 보간법은 3차 보간법보다 상대적으로 간단하고, 또한 적용적인 선형 보간법들은 3차 보간법과 비교해 보간된 영상의 화질이 3차 보간법과 대등하다[11].

보간 커널의 적용을 영역 변화량의 기울기 값에 따라 다르게 하여 에지 정보를 보존하는 기법이 제안되었으나 보간 화소 값들의 오차정보를 이용하여 부분적인 에지를 보존하지만 오차정보를 예측하는 과정에서 발생하는 부가적인 오차가 에지를 흐리게 하는 문제점이 발생할 수 있는 한계가 있다[12].

본 논문에서는 다양한 영상처리분야에 기반기술로 널리 사용되고 있는 양선형 보간법[3]~[5][13]의 치명적인 단점을 극복하기 위하여 기존의 기법[14]을 개선한 효율적인 기법을 제안하였다. 역방향 사상된 입력 영상 내의 좌표 주변의 기준

픽셀들의 값과 기준 픽셀들에 접한 픽셀들의 값을 사용하여 실제 영상의 곡면이 단순 볼록 곡면(simple convex surface) 혹은 단순 오목 곡면(simple concave surface)인지 여부를 추정하는 효과적인 기법과, 실제 영상이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 갖는 경우에 곡면 특성을 고려하여 보간값을 계산함으로써 보간 픽셀값이 실제 영상의 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면의 픽셀값에 가까운 값을 갖도록 하여 확대 영상의 화질을 개선하는 효율적인 기법을 제안하였다.

II. 기존의 영상 확대 방법

확대 영상은 입력 영상의 기준 픽셀들과 입력 영상의 픽셀들을 이용하여 보간된 보간 픽셀들로 구성되기 때문에 입력 영상의 기준 픽셀값들을 이용하여 보간된 보간 픽셀의 값이 실제 영상의 픽셀값과 일치 할수록 확대 영상의 화질이 개선된다. 확대 영상의 화질을 개선시키기 위하여 다양한 보간 기법(interpolation)들이 사용되고 있다. 보간 기법에서는 확대 영상의 보간 픽셀값 계산을 다음과 같은 절차를 따라 수행한다. 역방향 사상(backward mapping)을 하여 확대 영상의 픽셀 위치에 대응하는 입력 영상의 좌표를 구한다. 역방향 사상된 입력 영상의 좌표 주위에 있는 기준 픽셀들의 값과, 역방향 사상된 좌표와 주위의 기준 픽셀들과의 상대적인 위치 정보를 이용하여 역방향 사상된 좌표에서의 픽셀값을 계산한다. 계산된 픽셀값을 확대 영상의 보간 픽셀값으로 한다.

2.1 최근접 이웃 화소 보간법

최근접 이웃 화소 보간법(nearest neighbor interpolation)[6]은 역방향 사상을 하여 확대 영상의 각 픽셀 좌표에 대응 되는 입력 영상에서의 좌표를 구한다. 입력 영상으로 역방향 사상된 좌표가 정수값이면 입력 영상의 해당 위치의 기준 픽셀값이 확대 영상의 픽셀값이 되고, 역방향 사상된 좌표가 실수값이면 실수 좌표에 가장 가까운 위치에 있는 입력 영상 내 기준 픽셀의 픽셀값을 확대 영상의 픽셀값으

로 결정하는 기법이다.

확대 영상의 (x, y) 위치에서의 픽셀값 $P_m(x, y)$ 을 결정하기 위하여 입력 영상으로 역방향 사상을 한다. 역방향 사상된 입력 영상에서의 좌표가 (x_r, y_r) 인 경우, (x_r, y_r) 좌표값이 정수이면 입력 영상의 해당위치의 기준 픽셀값이 확대 영상의 픽셀값으로 결정된다. 좌표 (x_r, y_r) 이 실수인 경우에는 입력 영상내의 가장 가까운 정수 좌표 (x_a, y_a) 는 식 (1), (2)와 같이 구한다.

$$x_a = (\text{int})(x_r + 0.5) \quad (1)$$

$$y_a = (\text{int})(y_r + 0.5) \quad (2)$$

입력 영상 내 좌표 (x_a, y_a) 에서의 기준 픽셀의 값 $P_i(x_a, y_a)$ 가 좌표 (x_r, y_r) 에서의 계산된 보간값 $P_c(x_r, y_r)$ 가 되고, $P_c(x_r, y_r)$ 값이 확대 영상 내 (x, y) 위치에서의 보간된 픽셀값 $P_m(x, y)$ 가 된다.

본 논문에서 사용된 기호 P_i 는 확대하려고 하는 크기가 작은 입력 영상에서의 픽셀값인 기준 픽셀값을 나타낸다. P_c 는 입력 영상으로 역방향 사상된 위치에서의 계산된 보간 픽셀값을 의미하며 입력 영상내의 기준 픽셀값들을 이용하여 계산된다. P_m 과 P_c 는 각각 확대 영상에서의 픽셀값과 확대 영상에 대응하는 실제 영상에서의 픽셀값을 나타낸다.

최근접 이웃 화소 보간법은 구현이 간단하여 수행 속도가 빠른 장점이 있지만 최근접 이웃 화소 보간법을 적용하여 확대한 영상에는 블록화 현상(blocking effect)이 나타나게 된다. 이러한 블록화 현상은 확대 배율이 클수록 심하게 나타나는 특성이 있어 확대 영상의 품질을 크게 저하시킨다.

2.2 양선형 보간법

확대 영상의 블록화 현상을 제거할 수 있는 양선형 보간법(bilinear interpolation)[7]은 확대 영상의 화질을 향상시키는 보간 기법이다. 영상 확대에 일반적으로 사용되는 양선형 보간법은 확대 영상을 구성하기 위하여 확대 영상의 픽셀 좌표로부터 입력 영상으로 역방향 사상된 입력 영상의 좌표를 구한다. 입력 영상으로 역방향 사상된 좌표가 정수 좌표인 경우에는 입력 영상 내 해당좌표에서의 기준 픽셀값이 확대 영상의 픽셀값이 되고, 입력 영상으로 역방향 사상된 좌표가 실수 좌표인 경우에는 실수 좌표 주변에 있는 4개의 기준 픽셀값과, 실수 좌표와 주변의 기준 픽셀과의 상대적인 거리에 의해서 결정되는 가중치를 사용하여 가로축 방향과 세로축 방향으로 각각 보간을 수행하여 보간값을 구한다. 구해진 보간값이 확대 영상의 보간 픽셀값이 된다.

그림 1은 양선형 보간법에서의 픽셀값 보간을 보여주고 있다. 확대 영상의 픽셀 좌표 (x, y) 로부터 역방향 사상된 입력 영상의 실수 좌표 (x_r, y_r) 의 위치가 검정색 원으로 표시되어 있다. 역방향 사상된 실수 좌표 (x_r, y_r) 의 주변에 있는 4개의 기준 픽셀들은 검은색 사각형으로 표시되어 있고, 기준 픽셀들의 픽셀값은 각각 $P_i(x_i, y_i)=A, P_i(x_{i+1}, y_i)=B, P_i(x_i, y_{i+1})=C, P_i(x_{i+1}, y_{i+1})=D$ 이다. 역방향 사상된 입력 영상 내의 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간값은 다음과 같이 구해진다. 먼저 식 (3), (4)와 같이 가로축 방향으로 보간을 수행하여 좌표 (x_r, y_j) 와 (x_r, y_{j+1}) 에서의 보간값 E, F 를 계산한다. 흰색 원으로 표시되어 있는 좌표 (x_r, y_j) 와 (x_r, y_{j+1}) 에서의 보간값 E, F 를 사용하여 식 (5)와 같이 세로축 방향 보간을 수행하여 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간값 V 를 구한다.

$$E = P_c(x_r, y_j) = A \cdot (1 - \alpha) + B \cdot \alpha \quad (3)$$

$$F = P_c(x_r, y_{j+1}) = C \cdot (1 - \alpha) + D \cdot \alpha \quad (4)$$

$$V = P_c(x_r, y_r) = E \cdot (1 - \beta) + F \cdot \beta \quad (5)$$

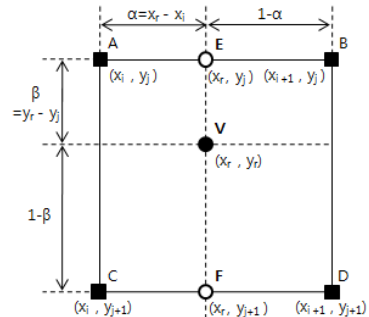


그림 1. 양선형 보간법에서의 픽셀값 보간

Fig. 1. Pixel interpolation in bilinear interpolation

식 (5)에서 구해진 보간값 V 가 확대 영상 내의 좌표 (x, y) 에서의 보간 픽셀값 $P_m(x, y)$ 가 된다. 즉, $P_m(x, y) = P_c(x_r, y_r) = V$ 가 된다. 식(3)~(5)의 가로축 방향 보간과 세로축 방향 보간에 사용되는 가중치 α, β 는 식 (6), (7)과 같이 역방향 사상된 실수 좌표와 주변 기준 픽셀과의 상대적 거리에 따라 결정되는 값이며 0과 1사이의 실수값을 갖는다.

$$\alpha = x_r - x_i \quad (6)$$

$$\beta = y_r - y_j \quad (7)$$

양선형 보간법을 적용하면 보간값 E 와 F 가 식 (3), (4)와 같이 계산되기 때문에 보간값 E 는 픽셀값 A 와 B 사이를 연결하는 직선상의 값을 갖게 되고, 보간값 F 는 픽셀값 C 와 D 사이를 연결하는 직선상의 값을 갖게 된다. 그림 2는 기준 픽

셀값이 A, B, C, D인 그림1의 입력 영상을 x축 방향으로 n 배 확대한 영상에서 $y=y_j$ 인 경우에 해당하는 확대 영상의 부분을 나타낸다. 그림 2에서 흰색 원으로 표시된 확대 영상의 좌표 $(x_{ni}, y_j), (x_{n(i+1)}, y_j)$ 에서의 픽셀값은 입력 영상 내 기준 픽셀의 좌표 $(x_i, y_j), (x_{i+1}, y_j)$ 에서의 픽셀값 A, B가 각각 사용되었음을 보여주고 있다. 즉, $P_m(x_{ni}, y_j)=P_i(x_i, y_j)=A$, $P_m(x_{n(i+1)}, y_j)=P_i(x_{i+1}, y_j)=B$ 임을 보여주고 있다. 보간 픽셀들은 흰색 원으로 나타내고 보간 픽셀들의 값은 각각 $P_1, P_2, \dots, P_{n-2}, P_{n-1}$ 로 나타내었다.

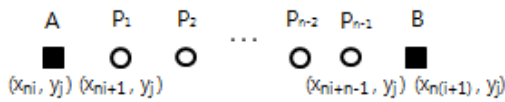


그림2. x축으로 n배 확대한 영상(단, $y=y_j$)
Fig. 2. n-times magnified image along with x-direction (provided $y=y_j$)

식 (3)과 (6)을 사용하여 그림 2의 보간 픽셀들의 값을 계산하면, A<B인 경우에는 식 (8)~(10)이 되고, A>B인 경우에는 식(8)~(10)의 식에서 두 번째 항을 빼면 된다. 그러므로 그림 2의 확대 영상에서의 보간 픽셀들의 값 P_1, P_2, \dots, P_{n-1} 은 선형적인 값들을 갖게 된다.

$$P_1 = A + |A-B|/n \quad (8)$$

$$P_2 = A + 2(|A-B|/n) \quad (9)$$

$$P_{n-1} = A + (n-1)(|A-B|/n) \quad (10)$$

그림 3은 그림 2에서의 픽셀값을 나타내고 있으며, 확대 영상의 보간 픽셀의 값 $P_1, P_2, \dots, P_{n(i+n-1)}$ 이 선형적인 값을 갖는 것을 보여주고 있으며 보간 픽셀의 값이 기준 픽셀값인 A와 B 사이의 값을 갖는 식 (11)의 조건을 만족하는 것을 보여주고 있다.

$$\min(A, B) \leq P_k \leq \max(A, B) \quad k = 1, 2, \dots, n(i+n-1) \quad (11)$$

그림 3에서 보는 바와 같이 양선형 보간법을 사용하여 확대한 영상에서의 보간 픽셀들의 값은 두 기준 픽셀값 사이에서 선형적인 값을 갖기 때문에 실제 영상에 존재하는 단순 볼록 곡면(simple convex surface)과 단순 오목 곡면(simple concave surface)의 특성을 반영하지 못하는 단점이 있다. 실제 영상이 그림 4에서 보는 바와 같이 단순 볼록 곡면을 갖는 경우, 확대 영상의 보간 픽셀들의 값 $P_1, P_2, \dots, P_{n(i+n-1)}$ 은 실제 영상의 해당 픽셀값보다 모두 작게 되어 확

대 영상의 화질이 저하된다.

그림 4에서 실제 영상의 픽셀값은 검정색 중심을 갖는 회색 원으로 표시되어 있고 이들을 연결한 2점 쇄선은 영상이 단순 볼록 곡면임을 나타낸다. 마찬가지로 실제 영상이 단순 오목 곡면인 경우에는 보간 픽셀값들이 실제 영상의 해당 픽셀값들보다 모두 크게 된다. 따라서 실제 영상이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 볼록 곡면을 갖는 경우에는 확대 영상의 화질이 저하되게 된다. 그러므로 실제 영상이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 갖는 경우에 이를 반영하여 보간 픽셀값을 구하면 확대 영상은 실제 영상에 더욱 가깝게 되어 확대 영상의 화질이 개선된다.

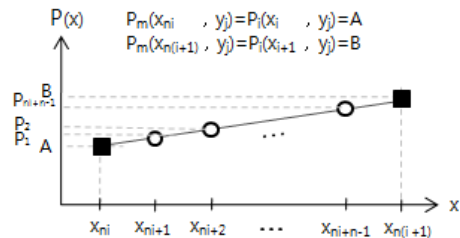


그림 3. x축으로 n배 확대한 영상에서의 보간 픽셀의 값
Fig. 3. Interpolated pixel values in n-times magnified image along with x-direction

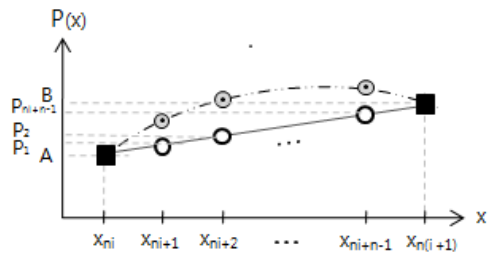


그림 4. 확대 영상과 단순 볼록 곡면을 갖는 실제 영상 (단, $y=y_j$)

Fig. 4. Magnified image and real image with simple convex surface (provided $y=y_j$)

2.3 3차회선 보간법

3차회선 보간법(cubic convolution interpolation)[8]은 역방향 사상된 입력 영상에서의 좌표 주변에 있는 16개의 픽셀값을 참조하여 확대 영상에서의 픽셀값을 계산한다. 그림 5는 입력 영상으로 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 주위의 16개 픽셀들을 보여주고 있다. 입력 영상으로 역방향 사상된 실수 좌표의 위치는 검정색 원으로 표시되어 있고, 3차회선 보간에

사용될 주변의 16개 픽셀들은 검은색 사각형으로 표시되어 있으며 흰색 원들은 역방향 사상 된 좌표에서의 픽셀값을 구하기 위하여 가로축 방향으로 보간 된 픽셀들이다.

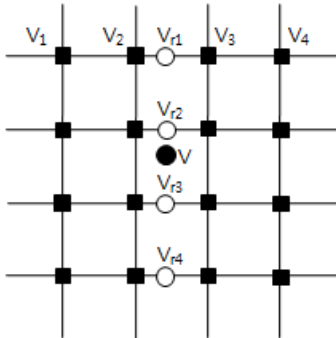


그림 5. 3차회선 보간법에 사용되는 입력 영상의 16개 픽셀
Fig. 5. 16 pixels in input image for cubic convolution interpolation

3차회선 보간법에서는 16개의 픽셀들을 각 가로줄 단위로 나눠서 각 가로축에 대하여 보간을 실시한 후 얻어진 보간 결과들을 가지고 세로축에 대한 보간을 수행하여 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간값 V 를 구한다. 따라서 3차회선 보간법에서는 총 5번의 보간이 이루어진다.

4개의 픽셀에 대하여 3차회선 보간법을 수행하는 방법은 다음과 같다. 3차 함수를 이용하여 4개의 픽셀에 대한 가중치를 계산하고, 픽셀값과 가중치를 곱한 값들을 모두 합한다. 이 가중치 함수(weight function)가 3차 곡선의 모양을 가지기 때문에 3차회선 보간법이라고 부른다. 3차회선 보간에 사용되는 가중치 함수는 식 (12)와 같다.

$$f(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & 0 \leq |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad (12)$$

식 (12)에서 a 값은 $-1.0 \leq a \leq -5$ 의 값을 주로 사용한다. a 의 값이 $-0.5, -1.0, -2.0$ 인 경우에 대한 그래프가 그림 6에 나타나 있다.

그림 7은 가로축에 대한 보간을 수행하는 경우를 보여 주고 있다. 검은색 사각형은 보간에 사용되는 4개의 기준 픽셀들을 나타내고 그 값들은 각각 V_1, V_2, V_3, V_4 이다. 흰색 원은 3차회선 보간법을 이용하여 픽셀값을 구하려고 하는 실수 좌표를 나타낸다.

두 번째 픽셀과 흰색 원 사이의 실수거리를 d 로 나타내었으며 0부터 1사이의 실수 값을 갖는다. V_1 에서의 가중치 값은

$f(1+d)$ 로 결정된다. V_2, V_3, V_4 에서의 가중치는 $f(d), f(1-d), f(2-d)$ 가 된다. 따라서 그림 7에서 3차회선 보간법을 이용하여 결정되는 보간값 V_{r1} 은 식 (13)과 같이 계산된다.

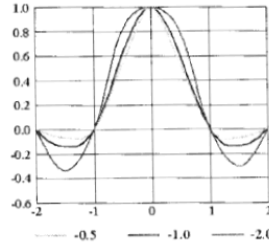


그림 6. 3차회선 보간법에 사용되는 가중치함수
Fig. 6. Weight function for cubic convolution interpolation

이와 같이 가로축으로 4번의 보간을 수행하여 구해진 보간값 $V_{r1}, V_{r2}, V_{r3}, V_{r4}$ 를 가지고 세로축 방향으로 동일하게 보간을 수행하면 (x_r, y_r) 에서의 보간 픽셀값 V 를 구할 수 있고, 구해진 보간값 V 를 확대 영상의 보간 픽셀값으로 한다. 즉, $P_m(x, y) = P_c(x_r, y_r) = V$ 가 된다.

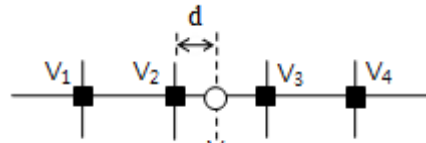


그림 7. 4개의 픽셀을 사용한 3차회선 보간
Fig. 7. Cubic convolution interpolation using 4 pixels

$$V_{r1} = V_1 \cdot f(1+d) + V_2 \cdot f(d) + V_3 \cdot f(1-d) + V_4 \cdot f(2-d) \quad (13)$$

III. 제안 기법

양선형 보간값이 영상을 확대하기 위하여 사용되는 효율적인 기법이지만, 확대 영상을 구성하는 보간 픽셀값들이 식 (3)~(5), (8)~(10)에 의하여 계산되기 때문에 그림 4에서 보는 바와 같이 확대 영상의 보간 픽셀값들이 보간에 사용되는 기준 픽셀값들 중 최대값과 최소값 사이의 선형적인 값들을 갖게 된다. 따라서 양선형 보간법을 적용하여 확대한 영상에는 실제 영상에 존재하는 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성이 반영되지 않아 확대 영상의 화질이 저하된다. 양선형 보간법의 단점을 보완하여 실제 영상에 존재하는 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성을 잘 반영할 수 있도록 확대 영상을 구성하면 확대 영상의 화질이 개선된다.

제안된 기법은 역방향 사상된 입력 영상 내 좌표 주변의 4개의 기준 픽셀값과 이들을 둘러싸고 있는 12개의 기준 픽셀

값을 사용하여 실제 영상의 곡면이 단순 볼록 곡면인지 혹은 단순 오목 곡면인지 여부를 추정한다. 실제 영상이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 갖는 것으로 추정된 경우에는 해당 곡면의 특성을 갖도록 보간값을 계산하여 보간 픽셀값이 실제 영상의 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면의 픽셀값에 가까운 값을 갖도록 하여 확대 영상의 화질을 개선시키는 기법이다.

그림 8은 역방향 사상된 입력 영상 내의 좌표 (x_r, y_r) 주변의 기준 픽셀 4개(검정색 사각형)와 4개의 기준 픽셀을 둘러싸고 있는 12개의 기준 픽셀(회색 사각형)들을 나내고 있다. 제안 기법에서는 4개의 기준 픽셀(A, B, C, D)과 주변에 있는 12개의 기준 픽셀값을 적절히 사용하여 실제 영상의 곡면 특성을 추정한다.

그림 8에서 픽셀값 A, B, C, D를 갖는 기준 픽셀의 좌표는 그림 1의 좌표와 동일하고, 인접한 12개 기준 픽셀의 좌표와 픽셀값은 다음과 같다. $P_1(x_i, y_{j-1})=AU$, $P_1(x_{i-1}, y_{j-1})=ALU$, $P_1(x_{i-1}, y_j)=AL$, $P_1(x_{i+1}, y_{j-1})=BU$, $P_1(x_{i+1}, y_j)=BRU$, $P_1(x_{i+2}, y_j)=BR$, $P_1(x_{i-1}, y_{j+1})=CL$, $P_1(x_{i-1}, y_{j+2})=CLB$, $P_1(x_i, y_{j+2})=CB$, $P_1(x_{i+1}, y_{j+2})=DB$, $P_1(x_{i+2}, y_{j+2})=DRB$, $P_1(x_{i+2}, y_{j+1})=DR$

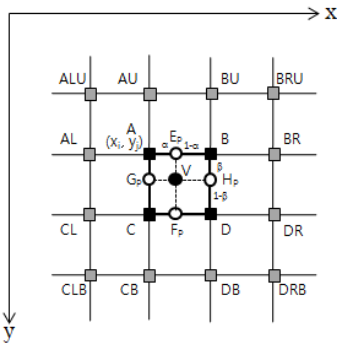


그림 8. 영상의 곡면 특성을 추정하기 위하여 사용되는 입력 영상 내의 인접한 기준 픽셀들

Fig. 8. The pixels in input image used for the estimation of the curved surface characteristics of image

기준 픽셀 4개과 이들을 둘러싸고 있는 12개의 기준 픽셀을 사용하여 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 주변의 실제 영상이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면인지를 추정하는 기법은 다음과 같다. 임의의 두 지점 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 를 지나는 직선의 방정식은 식 (14)와 같다. 식 (14)를 이용하면 상호 인접한 픽셀사이의 직선방정식을 간단히 구할 수 있다.

$$y = \{(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)\} (x - x_1) + y_1 \quad (14)$$

먼저, 입력 영상의 좌표 (x_r, y_j) 에서의 보간값 E_P 를 계산하기 위하여 좌표 (x_r, y_j) 에서의 x축 방향으로의 곡면이 단순 볼록 곡면인지 혹은 단순 오목 곡면인지를 판단한다. 이를 판단하기 위하여 인접 픽셀값과의 기울기를 계산한 다음, 이를 바탕으로 x축 방향의 곡면 특성을 추정하고 곡면의 특성에 따라 보간값을 계산한다. 좌표 (x_i, y_j) 와 이것과 접한 3개의 기준 픽셀의 좌표 (x_{i-1}, y_{j-1}) , (x_{i-1}, y_j) , (x_{i-1}, y_{j+1}) 사이에서 픽셀값에 대한 x축 방향만을 고려한 직선방정식을 구하면 식 (15)~(17)이 된다. 즉, (x_{i-1}, ALU) 와 (x_i, A) 를 지나는 직선방정식은 식 (15)가 되고, (x_{i-1}, AL) 과 (x_i, A) 를 지나는 직선방정식은 식 (16)이 되고, (x_{i-1}, CL) 과 (x_i, A) 를 지나는 직선방정식은 식 (17)이 된다. 동일한 방법으로 좌표 (x_{i+1}, y_j) 와 접한 3개의 기준 픽셀의 좌표 (x_{i+2}, y_{j-1}) , (x_{i+2}, y_j) , (x_{i+2}, y_{j+1}) 에서의 픽셀값에 대한 x축 방향만을 고려한 직선방정식을 구하면 식 (18)~(20)이 된다.

$$P_{L1}(x) = \{(A - ALU) / (x_i - x_{i-1})\} (x - x_{i-1}) + ALU \quad (15)$$

$$P_{L2}(x) = \{(A - AL) / (x_i - x_{i-1})\} (x - x_{i-1}) + AL \quad (16)$$

$$P_{L3}(x) = \{(A - CL) / (x_i - x_{i-1})\} (x - x_{i-1}) + CL \quad (17)$$

$$P_{R1}(x) = \{(B - BRU) / (x_{i+1} - x_{i+2})\} (x - x_{i+2}) + BRU \quad (18)$$

$$P_{R2}(x) = \{(B - BR) / (x_{i+1} - x_{i+2})\} (x - x_{i+2}) + BR \quad (19)$$

$$P_{R3}(x) = \{(B - DR) / (x_{i+1} - x_{i+2})\} (x - x_{i+2}) + DR \quad (20)$$

이때, 식 (15)~(17)의 기울기가 모두 양이면 식 (18)~(20)의 기울기가 모두 음인 경우, $x = x_r$ 을 식(15)~(17)과 식 (18)~(20)에 대입하여 각각 최소값을 갖는 $P_L(x)$ 과 $P_R(x)$ 를 구한 후 이를 식 (21), (22)에서와 같이 EP_L 과 EP_R 로 한다. 이를 그림으로 나타내면 그림 9와 같이 된다.

$$EP_L = \min\{P_{L1}(x_r), P_{L2}(x_r), P_{L3}(x_r)\} \quad (21)$$

$$EP_R = \min\{P_{R1}(x_r), P_{R2}(x_r), P_{R3}(x_r)\} \quad (22)$$

일반적으로 자연 영상에는 인접한 픽셀들이 서로 비슷한 픽셀값을 갖는 지역성(locality)이 존재하기 때문에 그림 9에서와 같은 입력 영상의 기준 픽셀값 A, B를 사용하여 계산된 보간값들로 구성되는 확대 영상 부분은 x축 방향으로 단순 볼록 곡면(simple convex surface)이라고 추정한다.

식 (15)~(17)의 기울기가 모두 음이면서 동시에 식 (18)~(20)의 기울기가 모두 양인 경우, $x = x_r$ 을 식(15)~(17)과 식(18)~(20)에 대입하여 각각 최대값을 갖는 P_L 과 P_R 를 구한 후 이를 식 (23), (24)와 같이 EP_L 과 EP_R 로 둔다. 이를 그림으로 나타내면 그림 10과 같이 된다. 그림 10과 같이 식

(15)~(17)의 기울기가 모두 음이면서 동시에 식 (18)~(20)의 기울기가 모두 양인 경우에는 입력 영상의 기준 픽셀값 A, B를 사용하여 계산된 보간값들로 구성되는 확대 영상 부분은 x축 방향으로 단순 오목 곡면이라고 추정한다.

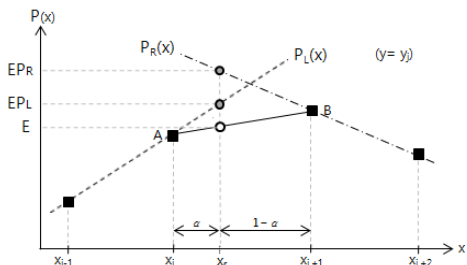


그림 9. 단순 볼록 곡면에서의 보간값 계산
Fig. 9. Interpolated value calculation in the case of simple convex surface

$$EP_L = \max\{P_{L1}(x_r), P_{L2}(x_r), P_{L3}(x_r)\} \quad (23)$$

$$EP_R = \max\{P_{R1}(x_r), P_{R2}(x_r), P_{R3}(x_r)\} \quad (24)$$

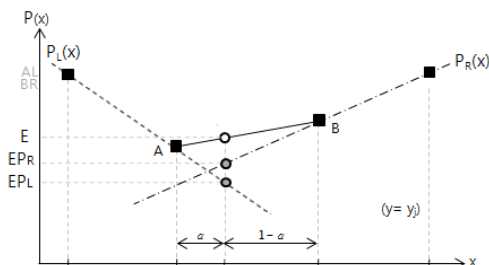


그림 10. 단순 오목 곡면에서의 보간값 계산
Fig. 10. Interpolated value calculation in the case of simple concave surface

그림 9, 그림 10과 같이 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면으로 추정된 경우, 좌표 (x_r, y_j) 에서의 보간값 E_p 는 다음과 같이 구한다. x_r 이 x_i 에 가까울수록 식 (6)에서 정의된 α 의 값이 작아져 픽셀값 B보다 픽셀값 A가 보간값에 더 큰 영향을 주고, x_r 이 x_{i+1} 에 가까울수록 α 의 값이 커지게 되어 픽셀값 A보다 픽셀값 B가 보간값에 더 큰 영향을 주게 됨을 식 (3)에서 확인할 수 있다. 이러한 이유로 픽셀값 A에 크게 영향을 받는 EP_L 과 픽셀값 B에 크게 영향을 받는 EP_R 에 의해서 결정되는 보간값 E_G 를 식 (25)와 같이 정의한다. 최종 보간값 E_p 는 단순 볼록 곡면과 단순 오목 곡면의 경우 각각 식(26), (27)과 같이 정의한다. 즉, E_G, E_L, E_R 중에서 양 선형 보간법에 의해서 계산된 픽셀값인 E에 가장 가까운 보간값이 제안 기법에서 구해지는 최종 보간값이 된다. 따라서 제안 기법으로 구해진 보간값은 그림 4에서와 같이 실제 영상의 단순 볼록 곡면 혹은 단순 오목 곡면의 특성을 충실히 반영하게 되어 확대 영상의 화질이 향상된다.

$$E_G = ((EP_L \cdot (1-\alpha) + EP_R \cdot \alpha) + E)/2 \quad (25)$$

$$E_p = \min(|E-E_G|, |E-E_L|, |E-E_R|) + E \quad (26)$$

$$E_p = E - \min(|E-E_G|, |E-E_L|, |E-E_R|) \quad (27)$$

좌표 (x_i, y_{j+1}) 과 접한 3개의 기준 픽셀의 좌표 $(x_{i-1}, y_j), (x_{i-1}, y_{j+1}), (x_{i-1}, y_{j+2})$ 에서의 픽셀값에 대한 x축 방향만을 고려한 직선방정식과 좌표 (x_{i+1}, y_{j+1}) 과 접한 3개의 기준 픽셀의 좌표 $(x_{i+2}, y_j), (x_{i+2}, y_{j+1}), (x_{i+2}, y_{j+2})$ 에서의 픽셀값에 대한 x축 방향만을 고려한 직선방정식을 구하고 E_p 와 동일한 절차를 따라 F_p 를 구한다. 좌표 (x_i, y_j) 와 (x_i, y_{j+1}) 에서 픽셀값에 대한 y축 방향만을 고려한 직선방정식을 구하고 동일한 절차를 따라 G_p 를 구하고 좌표 (x_{i+1}, y_j) 와 (x_{i+2}, y_{j+2}) 에서 픽셀값에 대한 y축 방향만을 고려한 직선방정식을 구하고 동일한 절차를 따라 H_p 를 구한다.

계산된 E_p, F_p, G_p, H_p 값을 사용하여 식 (28)과 같이 양 선형 보간을 수행한 후, 평균한 값을 (x_r, y_r) 에서의 보간값 V 로 하고 이를 확대 영상의 픽셀값으로 한다. 즉, $P_m(x, y) = P_1(x_r, y_r) = V$ 가 된다.

$$V = \{(E_p \cdot (1-\beta) + F_p \cdot \beta) + (G_p \cdot (1-\alpha) + H_p \cdot \alpha)\} / 2 \quad (28)$$

양선형 보간법은 그림 4에서 보는 바와 같이 실제 영상의 단순 볼록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성을 반영할 수 없는 치명적인 결함을 가지고 있으나 제안된 기법을 사용하여 구한 보간값 V 는 실제 영상의 단순 볼록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성을 충실히 반영하기 때문에 확대 영상의 화질이 개선된다. 제안 기법의 절차는 그림 11과 같다.

for (확대 영상의 모든 픽셀의 좌표에 대하여 반복)

{ 입력 영상 내의 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 계산:

(x_r, y_r) 주위의 4개 기준 픽셀과, 접한 12개의 주변픽셀 선택;

기준 픽셀에서 x축 방향만을 고려한 직선방정식의 기울기 조사;

기준 픽셀에서 y축 방향만을 고려한 직선방정식의 기울기 조사;

if(단순 볼록 곡면?) {

//제안 기법을 적용하여 단순 볼록 곡면에서의 보간값 계산

식 (21), (22), (25), (26)에 따라 E_p, F_p 계산;

동일한 방법으로 y축에 대한 G_p, H_p 계산;

식 (28)을 사용하여 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간값 V 계산;

}

else if(단순 오목 곡면 ?) {

//제안 기법을 적용하여 단순 오목 곡면에서의 보간값 계산

```

식 (23), (24), (25), (27)에 따라  $E_p$ ,  $F_p$  계산;
동일한 방법으로  $y$ 축에 대한  $G_p$ ,  $H_p$  계산;
식 (28)을 사용하여 좌표  $(x_r, y_r)$ 에서의 보간값  $V$  계산;
}
else{
//단순 블록 곡면 혹은 단순 오목 곡면이 아님
//양선형 보간법을 적용하여 보간값 계산
식 (3), (4)에 따라  $x$ 축방향의 양선형 보간값  $E$ ,  $F$  계산;
식 (5)를 사용하여 좌표  $(x_r, y_r)$ 에서의 보간값  $V$  계산;
}
보간값  $V$ 를 확대 영상에서 해당 좌표의 픽셀값으로 대치;
}

```

그림 11. 제안 기법의 절차
 Fig. 11. The procedure of the proposed scheme

IV. 실험결과

256x256픽셀 크기의 Lena, Mona Liza, Rocket launching, Mars probe, Old lady 영상을 가로축 방향과 세로축 방향으로 각각 4배 축소한 64x64픽셀 크기의 영상을 실험 영상으로 사용하였다. 각 실험 영상들에 대하여 최근접 이웃 화소 보간법, 양 선형 보간법, 3차회선 보간법, 본 논문의 제안 기법을 적용하여 가로축 방향과 세로축 방향으로 각각 4배 확대 영상을 생성하고, 확대 영상과 축소하기 전의 실제 영상간 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 측정하여 각 기법들의 성능을 비교 평가하였다.

그림 12 (a)는 실험 영상으로 사용된 64x64 픽셀크기의 Lena, Mona Liza, Rocket launching, Mars probe, Old lady 영상이고, (b)~(e)는 64x64 픽셀크기의 각 실험 영상에 대하여 최근접 이웃 화소 보간법, 양 선형 보간법, 3차회선 보간법, 제안 기법을 적용하여 세로축과 가로축 방향으로 각각 4배 확대한 256x256 픽셀 크기를 갖는 확대 영상들이다.

표 1 은 기존의 최근접 이웃 화소 보간법, 양선형 보간법, 3차회선 보간법, 그리고 본 논문의 제안 기법을 사용하여 각 실험 영상들을 세로축과 가로축 방향으로 각각 4배 확대한 영상을 실제 영상과 비교하여 PSNR을 측정한 결과 값들이다. 식 (12)에서 a 값은 -0.5로 하였다. 표 1의 실험 결과에서 보는 바와 같이 제안 기법을 적용하여 실험 영상을 확대한 경우, 기존의 기법들에 비하여 확대 영상의 화질이 0.0259dB ~ 4.0233dB 향상되었다. 따라서 영상 확대시 제안 기법을 사용하면 확대 영상이 실제 영상의 특성을 더욱 충실하게 갖게 되

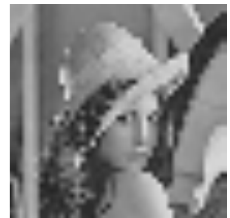
어 확대 영상의 화질이 크게 개선된다. 이러한 화질 향상은 실제 영상에 존재하는 단순 블록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 효과적으로 추정하는 제안기법을 적용하여 곡면을 추정한 후, 단순 블록 곡면 혹은 단순 오목 곡면인 경우에 해당 곡면의 특성에 따라 보간값을 구하는 제안 기법을 적용하여 구해진 보간값이 실제 영상의 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면의 픽셀값에 근접하게 되어 확대 영상이 실제 영상에 더욱 가깝게 되었기 때문이다.



(1-a) 영상 확대에 사용된 실험 영상, Lena



(1-b) 최근접 이웃 화소 보간법



(1-c) 양선형 보간법



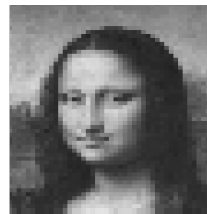
(1-d) 3차회선 보간법



(1-e) 제안 기법



(2-a) 영상 확대에 사용된 실험 영상, Mona Liza



(2-b) 최근접 이웃 화소 보간법



(2-c) 양선형 보간법



(2-d) 3차회선 보간법



(2-e) 제안 기법

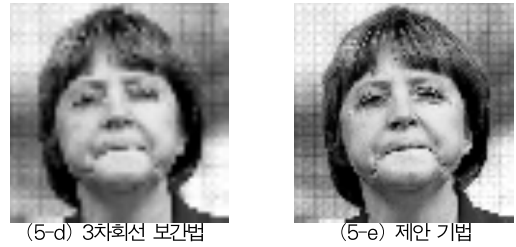


그림 12. 64x64 크기의 영상을 기존 기법 및 제안 기법을 적용하여 가로축 방향 및 세로축 방향으로 각각 4배 확대한 영상
Fig. 12. 4-times magnified images using the previous schemes and the proposed scheme

표 1. 기존 기법 및 제안 기법을 적용하여 확대한 확대 영상에서의 PSNR 실험값(dB)
Table 1. PSNR values of the magnified images using the previous schemes and the proposed scheme

	최근접 이웃 축소 보간법	양 선형 보간법	3차화선 보간법	제안 기법
Lena	21.9866	24.3946	24.2698	24.4477
Mona Liza	29.3608	33.2820	33.2907	33.3841
Rocket launching	23.8683	25.7243	25.3531	25.7502
Mars probe	19.7842	21.5862	21.5770	22.3754
Old lady	21.0058	23.2335	23.2010	23.9829

V. 결론

본 논문에서는 실제 영상에 존재하는 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면을 추정하는 효과적인 기법과 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성을 반영하여 보간값을 계산하여 확대 영상을 구성하는 효율적인 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 적용하여 보간값을 구하면, 단순 블록 곡면 혹은 단순 오목 곡면 부분에서의 보간값이 실제 영상의 픽셀값에 근접하게 되어 확대 영상은 실제 영상의 특성을 충실히 반영하게 되며 화질이 개선된다.

64x64 픽셀 크기를 갖는 실험 영상들에 대하여 제안 기법을 적용하여 세로축과 가로축 방향으로 각각 4배 확대한 확대 영상에서의 PSNR 값은 기존의 기법을 적용하여 확대한 확대 영상에서의 PSNR 값에 비하여 0.0259dB ~ 4.0233dB 향상되었다. 따라서 실제 영상의 곡면 특성을 반영하여 확대 영상을 생성하는 제안기법을 적용하면, 확대한 영상은 실제 영상에 더욱 충실하게 되어 확대 영상의 화질이 크게 개선된

다. 이러한 화질 향상은 실제 영상에 존재하는 단순 블록 곡면 혹은 단순 오목 곡면을 효과적으로 추정하고 단순 블록 곡면과 단순 오목 곡면의 특성을 잘 반영하도록 보간값을 구하는 효율적인 기법을 적용하여 구해진 보간값이 실제 영상의 픽셀값에 근접하게 되어 확대 영상이 실제 영상에 더욱 가깝게 되었기 때문이다.

참고문헌

- [1] W. K. Pratt, "Digital Image Processing," Wiley, 1991.
- [2] I. N. Bankman, "Handbook of Medical Imaging, Processing and Analysis," Academic Press, pp. 393-420, 2000.
- [3] S. M. Guo, C. Y. Hsu, G. C. Shin, and C. W. Chen, "Fast Pixel-size-based Large-scale Enlargement and Reduction of Image: Adaptive Combination of Bilinear Interpolation and Discrete Cosine Transform," Journal of Electronic Imaging, Vol. 20, No. 3, 2011.
- [4] K. B. Kim, "Panoramic Image Improvement using Forward Warping and Bilinear Interpolation Method," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering," Vol. 16, No. 10, pp. 2108-2112, 2012.
- [5] H. M. Moon, and S. B. Pan, "The LDA-based Long Distance Face Recognition using Multiple Distance Face Image and Bilinear Interpolation," Journal of Korean Institute of Information Technology," Vol. 11, No. 3, pp. 95-101, 2013.
- [6] A. K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing," Prentice Hall, 2005.
- [7] Y. Bai, and H. Zhuang, "On the Comparison of Bilinear, Cubic Spline, and Fuzzy Interpolation Techniques for Robotic Position Measurements," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 54, Issue 6, pp. 2281-2288, 2005.
- [8] K. P. Hong, J. K. Wang, I. S. Reed, and W. S. Hsieh, "Image Data Compression using Cubic Convolution Spline Interpolation," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 11, pp. 1988-1995, 2000.
- [9] X. Li, M. Orchard, "New edge-directed interpolation," IEEE Trans. Image Process, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, 2001.
- [10] J. W. Hwang, and H. S. Lee, "Adaptive image interpolation based on local gradient features," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 11, No. 3, pp. 359-362, 2004.
- [11] T. W. Chan, O. C. Au, T. S. Chong, and W. S. Chau, "An Adaptive interpolation using spatial varying filter," IEEE Int. Conf. Consumer Electron, pp. 109-110, 2005.
- [12] T. Mori, K. Kameyama, Y. Ohmiya, and J. Lee, "Image Resolution Conversion Based on an Edge-Adaptive Interpolation Kernel," IEEE Pacific Rim Conference, pp. 497-500, 2007.
- [13] Y. C. Hu, W. L. Chen, and J. R. Zeng, "Adaptive Image Zooming based on Bilinear Interpolation and VQ Approximation," Communications in Computer and Information Science, Vol.-, No. 260, pp. 310-319, 2011.
- [14] S. M. Jung, B. W. On, "An efficient quality improvement scheme of magnified image by using the information of adjacent pixel values," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 18, No. 2, pp. 49-58, 2013.

저 자 소개



정 수 목

1984: 경북대학교 공학사.

1986: 경북대학교 대학원 공학석사

2002: 고려대학교 대학원

컴퓨터학과 이학박사

현 재: 삼육대학교 컴퓨터학부

교수

관심분야: 멀티미디어, 영상처리

E-mail: jungsm@syu.ac.kr