

개선된 곡면 특성 추정 기법을 이용하는 영상 확대 기법

정수목*

Image Magnification Technique using Improved Surface Characteristics Estimation Method

Soo-Mok Jung*

요 약 자연 영상에는 일반적으로 지역성이 존재하기 때문에 인접한 픽셀 값들은 매우 유사한 값을 갖는다. 유사한 픽셀 값을 갖는 인접 픽셀들을 사용하여 실제 영상의 곡면 특성을 추정할 수 있다. 본 논문에서는 인접 픽셀 값들을 사용하여 실제 영상에 존재하는 곡면 특성을 정밀하게 추정하고, 곡면 특성을 반영하여 보간 값을 구하는 효과적인 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 사용하여 보간 값을 구하고자 하는 부분의 곡면 특성을 추정한 후, 추정된 곡면 특성을 충실하게 반영하는 보간 값을 구하여 확대 영상을 생성하는 효과적인 영상 확대 기법은 확대 영상의 화질을 향상시킨다. 실험을 통하여 제안된 기법의 성능이 기존의 기법에 비하여 우수함을 확인하였다.

Abstract In natural images, there is generally locality, and the values of adjacent pixels are similar. It is possible to estimate the curved surface characteristics of the original image using adjacent pixels having similar pixel values. In this paper, after precisely estimating the characteristics of the curved surface existing in the image, interpolation values are obtained so as to faithfully reflect the estimated characteristics of the curved surface, We propose an effective image enlarging method that generates an enlarged image using the obtained interpolation values. The image enlarged by the proposed method maintains the curved surface characteristics of the original image, and thus the image quality of the enlarged image is improved. Experimental results show that the image quality of the proposed method is superior to that of the conventional techniques.

Key Words : image magnification, interpolation, bi-linear interpolation, locality, surface characteristics

1. 서론

영상 보간(image interpolation) 기법은 영상처리(image processing), 컴퓨터비전(computer vision) 등의 분야에서 널리 사용되고 있는 기술이다.[1]~[4]. 영상의 크기를 변환하여 새로운 영상을 생성할 때, 보간법을 사용하여 원본 영상의 픽셀 값들로부터 결과 영상의 결정되지 않은 픽셀 값을 구하여 결과 영상을 생성한다. 결과 영상의 픽셀 값이 실제 영상의 픽셀 값에 가까울수록 결과 영상의 화질이 향상된다. 따라서 영상에 존재하

는 곡면 특성을 충실히 갖도록 보간 값을 생성하여 결과 영상을 생성하면 결과 영상의 화질이 향상된다.

확대 영상의 화질을 향상시키기 위한 보간 기법으로는 최근방 이웃 화소 보간법(nearest neighbor interpolation), 스플라인 보간법 (spline interpolation), 양선형 보간법(bilinear interpolation), 3차회선 보간법(cubic convolution interpolation) 등이 있는데[5]~[8], 경계면에서 흐림 현상이 발생하는 단점이 있다. 이러한 현상은 지역적인 특성을 반영하지 못하는 한계가 있기 때문이다. 3차 보간

*Corresponding Author : Division of Computer Science & Engineering, Sahmyook University (jungsm@syu.ac.kr)

Received February 02, 2017

Revised February 06, 2017

Accepted February 16, 2017

기법이 선형 보간 기법에 비하여 일반적으로 더 좋은 성능을 보인다. 이러한 이유 때문에 적응 보간법(adaptive interpolation scheme) 구축 시 기본 모델을 3차 보간법에 두는 경우가 많이 있다 [9][10]. 선형 보간법은 3차 보간법에 비하여 간단하고 보간 값 계산 시간이 빠르며, 적응적인 선형 보간법들은 3차 보간법과 비교해 보간 된 영상의 화질이 거의 동일하다[11]. 예지 정보를 보존하기 위하여 영역 변화량의 기울기 값에 따라 보간 커널의 적용을 다르게 하는 기법이 제안되었으나, 보간 화소 값들의 오차정보를 이용하여 부분적인 예지를 보존 하는 특징이 있지만, 오차정보를 예측하는 과정에서 발생하는 부가적인 오차가 예지를 흐리게 하는 문제점이 있다[12].

본 논문에서는 영상처리, 컴퓨터비전 등의 분야에 널리 사용되고 있는 양선형 보간법[2]~[4]의 구조적이고 치명적인 단점을 극복하기 위하여 기존 기법[13][14]를 개선한 효과적인 보간 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 영상에 존재하는 곡면 특성을 충실히 갖도록 보간 값을 구한 후, 이를 사용하여 확대 영상을 생성한다. 제안된 기법을 적용하여 영상을 확대하면, 확대 영상과 실제 영상과의 오차가 더욱 줄어 들게 되어 확대 영상의 화질이 향상된다.

2. 관련연구

1. 기존 영상 확대 기법

원본 영상내의 기준 픽셀들과 기준 픽셀들로부터 구해진 보간 값을 사용하여 확대 영상을 구성한다. 확대 영상의 좌표로부터 역방향 사상을 하여 원본 영상내의 역방향 사상된 좌표를 구한다. 역방향 사상된 좌표가 원본 영상 내 기준 픽셀의 좌표와 같으면 기준 픽셀 값을 확대 영상에 그대로 사용하고, 그렇지 않은 경우에는 역방향 사상된 좌표 주변의 기준 픽셀들을 이용하여 해당 좌표에서의 보간 픽셀 값을 구한 다음 이를 확대 영상의 픽셀 값으로 사용하여 확대 영상을 생성한다.

2. 양선형 보간법

양선형 보간법(bilinear interpolation)을 사용하여 영상을 확대하면, 블록화 현상이 확대 영상에서 나타나지 않게 되어 확대 영상의 화질이 크게 향상되기 때문에 양선형 보간법이 영상 확대의 기반 기술로 널리 사용되고 있다. 그림 1은 원본 영상으로 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 와 주위 4개의 기준 픽셀들을 나타내고 있다. 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 는 흑색 원으로 표시되어 있고, 좌표 (x_r, y_r) 주위에 있는 4개의 기준 픽셀들은 흑색 사각형으로 표시되어 있다. 좌표 (x_r, y_r) 에서 구해지는 보간 값은 V 로 표기 되어 있다.

주위 4개의 기준 픽셀들의 픽셀 값은 A, B, C, D 이고 이들의 값은 각각 $Ps(x_i, y_j), Ps(x_{i+1}, y_j), Ps(x_i, y_{j+1}), Ps(x_{i+1}, y_{j+1})$ 이다. 확대 영상내의 픽셀 위치 (x, y) 에서 원본 영상으로 역방향 사상된 좌표가 (x_r, y_r) 이다. $Pm(x, y)$ 는 확대 영상내 좌표 (x, y) 에서의 픽셀 값을 나타낸다.

식 (1)~(3)을 사용하여 원본 영상으로 역방향 사상된 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간 값 V 를 구하고, 보간 값 V 를 확대 영상내의 좌표 (x, y) 에서의 픽셀 값 $Pm(x, y)$ 이 된다. 양선형 보간법을 사용하여 구한 보간 값 E, F, V 는 식 (4), (5), (6)의 조건을 만족한다. 식 (1)에 의해서 구해진 보간 값 E 는 값 A 와 값 B 를 연결하는 직선상의 값을 갖게 되기 때문에 보간 값 E 는 식 (4)를 만족하게 된다. 따라서 좌표 (x_r, y_r) 에서의 보간 값 V 는 픽셀 값 A, B, C, D 를 사각형의 꼭지 점으로 하는 사각 평면상의 한 점에 해당하는 값을 갖게 되어 식 (6)을 만족하게 된다.

따라서, 보간 값 V 는 실제 영상에 존재하는 단순 볼록 곡면(simple convex surface), 단순 오목 곡면(simple concave surface), 복합 곡면 특성을 반영하여 보간 값을 구할 수 없는 치명적인 단점이 있다. 그림 2는 실제 영상이 단순 볼록 곡면인 경우를 나타내고 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이 실제 영상이 단순 볼록 곡면을 갖는 경우, 양선형 보간법을 사용하여 구한 보간 값들은 직선상의 등 그래미로 표시된 값들이 구해지게 되어 원본 영상

에 존재하는 곡면 특성을 반영할 수 없는 치명적인 단점이 존재한다. 제안된 곡면 특성 추정기법을 사용하여 단순 블록 곡면인 것으로 판단되면, 단순 블록 곡면의 특성이 반영되도록 보간 값(별표 ☆ 표시)을 구할 수 있게 되고, 확대 영상은 원본 영상의 블록 곡면의 특성을 반영하게 되어 확대 영상의 화질이 향상된다. 따라서 양선형 보간법의 한계를 극복하여 실제 영상에 존재하는 곡면 특성을 반영하여 보간 값을 구하면 확대 영상의 화질이 향상될 수 있다.

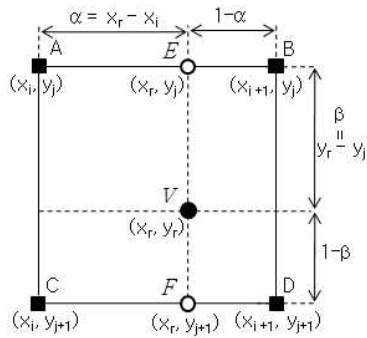


그림 1. 양선형 보간법
Fig. 1. Bilinear interpolation

$$E = A \cdot (1-\alpha) + B \cdot \alpha \quad (1)$$

$$F = C \cdot (1-\alpha) + D \cdot \alpha \quad (2)$$

$$V = E \cdot (1-\beta) + F \cdot \beta \quad (3)$$

$$\min(A, B) \leq E \leq \max(A, B) \quad (4)$$

$$\min(C, D) \leq F \leq \max(C, D) \quad (5)$$

$$\min(A, B, C, D) \leq V \leq \max(A, B, C, D) \quad (6)$$

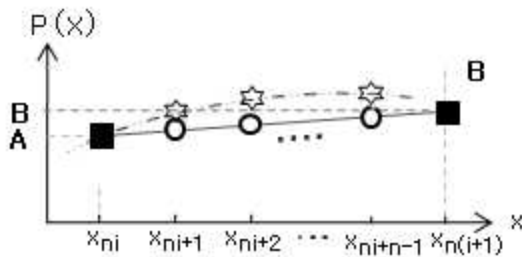


그림 2. x축으로 n배 확대한 영상에서의 보간 값
Fig. 2. Interpolated values in an image that is enlarged n times in the x-axis only

3. 제안기법

양선형 보간법의 구조적이고 치명적인 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 실제 영상의 곡면 특성을 정확하게 추정하고, 추정된 곡면 특성을 충실하게 반영하여 보간 값을 구하는 효과적인 기법을 제안한다. 제안된 기법으로 보간 값을 구하여 확대 영상을 생성하면, 확대 영상은 실제 영상에 더욱 가깝게 되어 확대 영상의 화질이 향상된다.

그림 3은 곡면 특성을 정확하게 추정하기 위하여 사용되는 기준 픽셀들을 나타내고 있다. 픽셀 값이 결정되지 않은 확대 영상의 좌표 (x, y)로부터 원본 영상으로 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)에 인접해 있는 4개의 기준 픽셀은 흑색으로 표시되어 있다. 인접한 4개의 기준픽셀 외곽에 존재하는 12개의 기준 픽셀은 회색으로 표시되어 있다.

픽셀 값이 A, B, C, D인 4개의 기준 픽셀들의 좌표는 그림 1에 표시된 좌표와 동일하다. 외곽에 있는 12개 기준 픽셀들의 픽셀 값과 픽셀 좌표는 다음과 같다. AL=PS(xi-1, yj), ALU=PS(xi-1, yj-1), AU=PS(xi, yj-1), BU=PS(xi+1, yj-1), BRU=PS(xi+2, yj-1), BR=PS(xi+2, yj), CL=PS(xi-1, yj+1), CLB=PS(xi-1, yj+2), CB=PS(xi, yj+2), DR=PS(xi+2, yj+1), DRB=PS(xi+2, yj+2), DB=PS(xi+1, yj+2). 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)에서의 보간 값은 곡면 특성을 정확하게 추정한 후, 추정된 곡면 특성이 반영되도록 상·하·좌·우에서의 인근 보간 값을 결정하고, 인근 보간 값을 사용하여 최종 보간 값을 구한다. 구해진 최종 보간 값을 확대 영상의 픽셀 값으로 하여 확대 영상을 생성한다.

역방향 사상된 좌표 (xr, yr)에서의 곡면 특성은 다음과 같이 추정한다. 역방향 사상된 좌표에 인접한 기준픽셀의 값들 중에서 최대값과 최소값을 식 (7)~(8)과 같이 IM, IS로 두고, 인접한 기준픽셀 외부에 있는 회색으로 표시된 픽셀의 값들 중에서 최대값과 최소값을 식 (9)~(10)과 같이 OM, OS로 둔다. 식 (11)을 만족하는 경우에는 역방향 사상된 좌표 영역이 블록 블록 곡면이라고 추정한다.

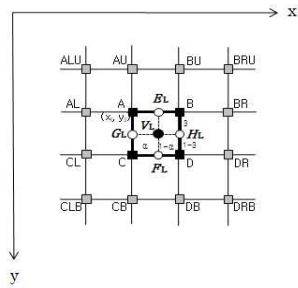


그림 3. 영상의 다양한 곡면 특성을 갖는 보간 값을 구하기 위하여 사용되는 원본 영상내의 기준 픽셀들
 Fig. 3. The standard pixels used for the calculation of the interpolated value which have the characteristics of the various curved surface in source image

좌표 (xr, yr)에서의 곡면 특성이 블록 곡면인 경우, 좌표 (xr, yr)의 위쪽에서의 인근 보간 값 EL은 다음과 같이 구한다. 두 지점 (x1, y1)과 (x2, y2)를 지나는 직선 방정식은 식 (12)와 같다. 식 (12)를 사용하면 상호 인접한 픽셀사이의 직선 방정식을 간단히 구할 수 있다. 픽셀 값이 A인 기준 픽셀과 픽셀 값이 AL인 기준 픽셀사이를 지나가는 가로축 방향의 직선 방정식은 식 (13)과 같다. 즉, (xi-1, AL)와 (xi, A)를 지나는 직선 방정식 PA(x)은 식 (13)과 같이 된다. 동일한 방법으로, 픽셀 값이 B인 기준 픽셀과 픽셀 값이 BR인 기준 픽셀사이를 지나가는 가로축 방향의 직선 방정식은 식 (14)와 같다. 직선 방정식에서 변수 x에 xr값을 대입한 PA(xr), PB(xr)의 값이 모두 A와 B 보다 큰 경우에는 식 (15)와 같이 PA(xr)와 PB(xr) 중의 최소값을 EC로 두고, 추정된 블록 곡면의 특성이 충실히 반영되도록 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)의 위쪽의 인근 보간 값 EL을 식 (16)과 같이 구한다. 만약 PA(xr), PB(xr)의 값이 모두 A와 B 보다 큰 경우가 아니면, 표면이 급격한 변화가 있는 경계면일 가능성이 크기 때문에 추정된 곡면 특성을 고려하지 아니하고 식 (17)과 같이 양선형 보간법으로 구해진 보간 값 E를 EL값으로 한다. 동일한 방법으로 FL을 간단히 구할 수 있다.

$$IM = \max(A, B, C, D) \quad (7)$$

$$IS = \min(A, B, C, D) \quad (8)$$

$$OM = \max(AL, AU, BU, BRU, BR, DR, DRB, DB, CB, CLB, CL) \quad (9)$$

$$OS = \min(AL, AU, BU, BRU, BR, DR, DRB, DB, CB, CLB, CL) \quad (10)$$

$$IS > OM \quad (11)$$

$$y = \{(y2-y1)/(x2-x1)\}(x-x1) + y1 \quad (12)$$

$$PA(x) = \{(A-AL)/(xi-xi-1)\}(x-xi-1)+AL \quad (13)$$

$$PB(x) = \{(B-BR)/(xi+1-xi+2)\}(x-xi+2)+BR \quad (14)$$

$$EC = \min(PA(xr), PB(xr)) \quad (15)$$

$$EL = E + EC * \beta * \min\{|A-AL|, |B-BR|\} \quad (16)$$

$$EL = E \quad (17)$$

한편, 식 (18)을 만족하는 경우에는 역방향 사상된 좌표 (xr, yr) 부분이 오목 곡면이라고 추정한다. 좌표 (xr, yr)에서의 곡면 특성이 오목 곡면인 경우에는 역방향 사상된 좌표 위쪽의 보간 값 EL을 다음과 같이 구한다. 직선 방정식에서 변수 x에 xr값을 대입한 PA(xr), PB(xr)의 값이 모두 A와 B 보다 적은 경우에는, 식 (19)와 같이 PA(xr)와 PB(xr) 중의 최대값을 EC로 두고, 추정된 오목 곡면의 특성이 충실히 반영되도록 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)의 위쪽의 인근 보간 값 EL을 식 (20)과 같이 구한다. 만약 PA(xr), PB(xr)의 값이 모두 A와 B 보다 적은 경우가 아니면, 표면이 급격한 변화가 있는 경계면일 가능성이 크기 때문에 추정된 오목 곡면 특성을 고려하지 아니하고 식 (17)과 같이 양선형 보간법으로 구해진 보간 값 E를 EL값으로 한다. 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)의 아래쪽의 보간 값 FL도 간단히 구할 수 있다.

좌표 (xr, yr)에서의 곡면 특성이 블록 곡면도 아니고 또한 오목 곡면도 아닌 경우에는 양선형 보간법에 의해서 구해진 보간값 E, F를 각각 EL, EL로 둔다. 위와 동일하게 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)의 왼쪽과 오른쪽이 수직방향으로 블록 곡면인지, 오목 곡면인지를 조사하여 보간 값 GL과 HL을 간단히 구할 수 있다.

위의 방법으로 구해진 EL, FL, GL, HL을 사용하여 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)에서의 최종 보간 값 V를 식 (21)과 같이 구한다. 구해진 보간 값

은 식 (22)와 같이 확대 영상의 좌표 (x, y)에서의 픽셀 값이 된다.

제안 기법을 적용하여 역방향 사상된 좌표 (xr, yr)에서 구한 보간 값은 실제 영상에 존재하는 곡면의 특성을 충실히 반영하는 보간 값이 된다. 따라서 제안 기법을 적용하여 영상을 확대하면 확대 영상이 실제 영상에 더욱 가깝게 되기 때문에 확대 영상의 화질이 향상된다.

$$IM < OS \tag{18}$$

$$EC = \max\{PA(xr), PB(xr)\} \tag{19}$$

$$EL = E - EC \cdot \beta \cdot \min\{|A - AL|, |B - BR|\} \tag{20}$$

$$V = \{(EL \cdot (1 - \beta) + FL \cdot \beta) + (GL \cdot (1 - \alpha) + HL \cdot \alpha)\} / 2 \tag{21}$$

$$Pm(x, y) = \text{int}(V + 0.5) \tag{22}$$

4. 실험 결과

512x512픽셀 크기를 갖는 woman, Hara, vivian 영상을 샘플 영상으로 하여 실험을 수행한 후, 제안 기법의 성능을 평가하였다. 먼저 각 영상을 x축 방향과 y축 방향으로 각각 4배 축소하여 128x128 픽셀 크기의 축소된 영상을 생성하였다. 128x128 픽셀 크기의 축소된 영상을 원본 영상으로 사용하여 최근방 이웃 화소 보간법, 양선형 보간법, 제안 기법을 적용하여 x축 방향과 y축 방향으로 각 4배 확대한 512x512픽셀 크기의 확대 영상을 생성하였다. 본 논문의 실험에서는 식 (16)에서의 β 를 0.5로 하였다. 실험에 사용된 512x512픽셀 크기의 실제 영상, 확대에 사용된 128x128픽셀 크기의 원본 영상, 각 기법을 적용하여 확대한 512x512픽셀 크기의 확대 영상들을 그림 4에 나타내었다. 128x128픽셀 크기의 원본 영상에 대하여 최근방 이웃 화소 보간법, 양선형 보간법, 그리고 본 논문의 제안 기법을 적용하여 확대한 512x512픽셀 크기의 확대 영상에 대하여 PSNR 값을 측정한 실험 결과들을 표 1에 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 제안 기법을 적용하여 원본 영상을 확대하면, 확대 영상의 화질이 기존의 기법들에 비하여 각각 0.0716dB~4.2712dB 향상되었다.



그림 4. 기존 기법 및 제안 기법을 적용하여 원본 영상을 x축, y축 방향으로 각각 4배 확대한 영상
Fig. 4. 4-times magnified image using the previous schemes and the proposed scheme

표 1. 가로축·세로축 방향으로 4배 확대한 영상의 PSNR 실험값[dB]

Table 1. PSNR values of the 4-times magnified images[dB]

	최근방 이웃화소 보간법	양선형 보간법	제안 기법
woman	30.5397	34.7393	34.8109
Hara	28.0475	30.9622	30.9904
vivian	30.1714	32.8293	32.8639

5. 결론

본 논문에서는 영상에 존재하는 곡면 특성을 정확하게 추정하고, 추정된 곡면 특성이 충실하게 반영되도록 보간 값을 계산하여 확대 영상을 생성하는 기법을 제안하였다. 512x512 픽셀 크기의 woman, Hara, vivian 영상을 가로축 방향과 세로축 방향으로 각 4배 축소된 128x128픽셀 크기의 영상을 생성한 후, 128x128 픽셀 크기의 축소된 영상에 대하여 최근방 이웃 화소 보간법, 양선형 보간법, 제안 기법을 적용하여 x축과 y축 방향으로 각 4배 확대하여 512x512 픽셀 크기의 확대 영상을 생성하였다. 제안 기법을 적용하여 확대한 영상의 PSNR 값을 측정된 결과, 기존의 기법을 적용하여 확대한 확대 영상의 PSNR 값에 비하여 0.0716dB~4.2712dB 향상되었다. 이러한 화질 향상은 영상에 존재하는 곡면 특성을 정확하게 추정하고, 추정된 곡면 특성을 충실하게 반영하는 보간 값을 생성하고, 생성된 보간 값을 사용하여 확대 영상을 생성하였기 때문에 확대 영상은 실제 영상에 더욱 가깝게 되어 확대 영상과 실제 영상과의 오차가 줄어들기 때문이다.

REFERENCES

[1] I. N. Bankman, "Handbook of Medical Imaging, Processing and Analysis," Academic Press, pp. 393-420, 2000.

[2] 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. 260, pp. 310-319, December 2011.

[3] 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, Oct. 2012.

[4] 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, March 2013.

[5] A. K. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing," Prentice Hall, 2005.

[6] 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, December 2005.

[7] K. P. Hong, J. K. Wang, I. S. Reed, and W. S. Hsieh, "Image Data Compression using Cubic Convolution Spline Interpolation," IEEE Tran. Image Processing, Vol. 9, No. 11, pp. 1988-1995, Nov. 2000.

[8] J. W. Yoo, D. H. Park, and Y. Kim, "An Image Interpolation by Adaptive Parametric Cubic Convolution," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 13, No. 6, pp. 163-171, Nov. 2008.

[9] X. Li, M. Orchard, "New edge-directed interpolation," IEEE Trans. Image Process, Vol. 10, No. 10, pp. 1521-1527, Oct. 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, March 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, June 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, Aug. 2007.
- [13] S. M. Jung and B. W. On, "An effective quality improvement scheme of magnified image using the surface characteristics in image," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 8, pp. 45-54, Aug. 2014.
- [14] S. M. Jung, "Image Magnification Scheme using the Various Surface Curved Characteristics in Image," The Korea Information Electron Communication Technology, Autumn conference, Vol. 19, No. 8, pp. 45-54, Aug. 2016.

저자약력

정 수 목(Soo-Mok Jung)

[중심회원]



- 1984년 2월 : 경북대학교 전자공학(공학사)
- 1986년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 대학원 컴퓨터학과(이학박사)
- 현재: 삼육대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야>

image processing, computer architecture