

저해상도 CCD 소자 특성을 고려한 경계 모델 기반 디지털 정지 영상 확대

정희원 전 준근*, 최영호*, 김한주*, 박규태*

Edge Model Based Digital Still Image Enlargement Considering Low-Resolution CCD Device Characteristics

Jun Geun Jeon*, Youngho Choi*, Han Joo Kim*, Kyu Tae Park* *Regular Members*

요약

디지털 카메라의 핵심 부품인 CCD(charge coupled device) 소자의 해상도는 촬영된 영상의 화질에 결정적인 요인으로 작용하며 제품 제조 원가에서도 큰 비중을 차지한다. 낮은 해상도의 소자로부터 보다 높은 해상도의 화질을 얻기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 본 논문에서는 에일리어싱 성분을 가우시안 저역 필터로 제거한 후, 최소 자승 스플라인 보간과 경계 모델에 기반한 비선형 보간을 사용함으로써 확대된 저해상도 영상의 계단 현상, 블록화 현상 등을 줄이는 동시에, 선형 보간 시 나타나는 경계 주변의 울림 현상(ringing effect), 번짐 현상(blur effect)을 최소화하는

ABSTRACT

There have been many researches to yield higher resolution image quality from the low resolution CCD device. The resolution of it is primary factor for the image quality of digital still camera and in manufacturing price. In this paper, image enlargement algorithm, which reduces blocking effect of enlarged low resolution image and minimizes ringing and blur effect occurring around edge in linear interpolation, is proposed. This algorithm is composed of Gaussian low pass filter which eliminates aliasing, least square spline interpolation and non-linear interpolation based on step edge model.

. 서론

디지털 카메라의 핵심 부품인 CCD 소자의 해상도는 촬영된 영상의 화질에 결정적인 요인으로 작용한다. 해상도가 높고 양자화 단계가 세밀한 CCD를 사용하면 보다 고화질의 영상을 얻을 수 있지만 제품 단가가

상승하게 된다. 같은 해상도와 같은 수의 양자화 단계를 갖는 CCD 소자로부터 보다 고화질의 영상을 얻는다면 가격 대비 성능을 향상시킬 수 있다. 영상을 확대하거나 축소하는 방법으로 표본화 정리를 이용한 방법[1], B-스플라인 보간[2-5], 최소 자승 축척 변환[6-8] 등과 같은 선형 보간과 비선형 모델을 사용한 비선형 보간[9,10] 등이 있다.

Whittaker-Shannon의 표본화 정리(sampling theorem)에 따르면, 대역 제한된 연속 신호(band-limited signal)의 경우, 표본화값을 sinc 함수로 보간함으로써 원신호를

*연세대학교 전자공학과
論文番號 : 98054-0210
接受日字 : 1998年 2月 10日

완벽하게 복원할 수 있다. 표본점들로부터 연속 신호를 복원하고 이를 다시 재표본화하여 영상의 확대와 축소를 구현할 수 있다. 하지만 연속 신호를 복원하는 sinc 함수가 한정된 지원 구간(compact support) 특성을 갖지 않기 때문에 실용적인 측면에서 계산량이 커지는 문제점이 있다. 연속 신호와 이산(discrete) 표본간의 변환에, 한정된 지원 구간 특성을 갖는 B-스플라인 보간 함수를 사용하면 계산량을 대폭 줄일 수 있다.

표본화 정리를 이용하여 이산 표본으로부터 연속 신호를 복원하고 이를 재표본화하는 방법은 표본수를 줄이는 경우 높은 공간 주파수 성분이 겹치게 되어 에일리어싱을 일으키므로 정보 손실을 최소화한다는 관점에서 최적의 결과를 보여주지 못한다. 여기에서 정보 손실을 최소화한다는 의미는 축척 변환된 영상을 다시 원래의 축척으로 복원했을 때 원영상과의 자승 오차를 최소화한다는 것을 의미한다. Unser는 표본 간격이 1인 스플라인 기저 공간의 표본들로부터 연속 신호를 복원하고 이를 다시 간격이 Δ 인 스플라인 기저 공간에 직교 투영하여 축척 변환을 수행하는 최소 자승 스플라인 보간(least square spline interpolation)을 제안하였다[6]. 최소 자승 스플라인 보간에서는 영상을 축소하는 경우, 쌍대 스플라인 표현식으로 나타내는 과정에서 영상 대역폭이 겹치지 않도록 제한되므로 에일리어싱 문제가 발생하지 않는다.

스캐너와 같은 장비는 300~600 DPI(dot per inch)의 고해상도로 영상을 취득하므로 원영상에 에일리어싱이 심하게 나타나지 않지만, 100만 화소 이하의 보급형 디지털 카메라는 낮은 해상도(100DPI 이하)를 사용하므로 이러한 현상이 심하게 나타난다. 대역 제한된 신호(band-limited signal)를 표본화하면 이러한 현상을 막을 수 있지만, 영상 신호는 입력단이 2차원 이산 신호이므로 아날로그 전처리 필터를 이용한 대역폭 제한이 곤란하다. 이 때문에 저해상도 CCD를 사용하여 취득한 영상 신호는 일반적으로 에일리어싱 성분이 존재하는 대역 제한되지 않은 신호이며, 필터를 이용하여 에일리어싱 성분을 제거하여야 확대된 영상의 화질저하 현상을 줄일 수 있다.

최소 자승 스플라인 보간은 영상을 축소하는 경우에

는 대역폭 제한 필터의 작용을 하지만, 확대하는 경우에는 대역폭을 제한하지 않으므로 원영상에 에일리어싱 성분을 포함하고 있는 경우, 이러한 눈에 거슬리는 성분이 그대로 확대되어 나타난다. 따라서 저해상도 CCD를 사용하여 취득한 영상을 확대하는 경우에는, 전처리부에서 에일리어싱 성분을 적절히 제거해 주어야만 한다.

선형 보간 방법은 일반적으로 신호의 연속성이 보장되는 경우에는 최적의 결과를 내지만, 물체의 경계와 같이 영상 신호의 불연속성이 높은 영역에 대해서는 여러 가지 적합하지 못한 현상이 나타난다. 단색 바탕에 쓰여진 글자 영상에 대해 삼차 선형 보간을 하면 글자의 테두리에 울림 현상(ringing effect)이 나타나서 시각적으로 좋지않은 결과를 보여주며, 쌍일차 선형 보간(bilinear interpolation)을 하면 울림 현상은 나타나지 않지만 글자와 바탕의 경계가 부엌게 번지는 현상이 나타난다. Jensen은 영상의 영역을 계단 경계(step edge) 영역과 비경계 영역으로 분류하고 경계 영역에 대해 계단 경계 모델을 이용한 비선형 보간을 수행하는 방법을 제안하였다[10]. 하지만 이 방법은 영상을 2^n (n 은 정수)배 확대하기 위한 알고리즘으로, 임의의 배수로 확대하지는 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 저해상도 CCD를 사용하여 취득한 영상을 우수한 시각적 특성을 보이는 고해상도 영상으로 확대하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 먼저 저해상도 영상이 갖는 에일리어싱 성분을 제거하기 위해 가우시안 저역 통과 필터를 사용하였으며, 저역 통과된 영상에 대해 최소 자승 스플라인 보간 방법을 적용하여 임의의 축척으로 확대가 가능하게 하였다. 또한 계단 경계 모델에 기반한 비선형 보간을 수행함으로써 저역 통과한 영상을 선형 확대하는 경우 발생하는 경계 부근의 번짐 현상(blur effect)을 최소화하여 전체적으로 선명한 영상을 얻을 수 있도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 저해상도 CCD의 특성을 고려한 경계 모델 기반 비선형 보간 방법과 선형 보간 방법, 두 방법의 정합에 대해 설명하였다. 3장에서는 기존의 영상 확대 기법과의 객관적, 주관적 화질 비교를 통해 화질 향상 성능을 비교하

였으며, 4장에서 결론을 맺는다.

II. 저해상도 CCD 특성을 고려한 보간 알고리즘

1. 시스템 구성

보간 알고리즘은 그림 1과 같이 에일리어싱 제거, 최소 자승 스플라인 보간, 경계 모델 기반 비선형 보간, 선형과 비선형 보간 정합으로 구성된다.

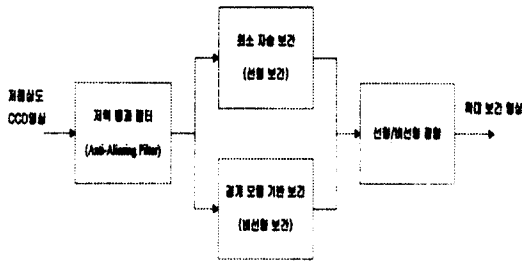


그림 1. 영상 확대 알고리즘.

Fig.1 Image enlargement algorithm.

일반적으로 저해상도 CCD를 사용하여 취득한 영상은 에일리어싱 성분을 많이 포함하고 있기 때문에 저역 통과 필터를 통과시킨 후 영상을 확대해야 눈에 거슬리는 계단 현상, 블록화 현상 등을 줄일 수 있다. 저해상도 CCD로 취득한 영상에 대해 다음과 같은 가우시안 함수를 사용하여 대역폭 제한을 수행하여 에일리어싱 성분을 제거한다.

$$K \exp(-x^2 / \sigma^2) \quad (1)$$

여기에서 K 는 $\int_{-\infty}^{\infty} K \exp(-x^2 / \sigma^2) = 1$ 을 만족하는 값으로

정한다. 가우시안 저역 통과 필터의 σ 값은 0.3~0.7 사이의 값을 사용하며, 영상의 계단 현상이 심할수록 큰 표준 편차를 갖는 필터를 사용한다.

저역 통과된 영상에 대해서 선형 보간으로 최소 자승 스플라인 보간 방법을 사용하고, 비선형 보간으로 계단 경계 모델(step edge model)에 기반한 비선형 보간을 수행한다. 마지막 단계에서는 선형 보간된 결과에 경

계 모델을 사용하여 얻은 보간 결과를 정합하여 선명한 고해상도 영상을 얻는다.

2. 최소 자승 스플라인 보간(Least Square Spline Interpolation)

최소 자승 스플라인 보간은 표본 간격이 1인 스플라인 공간 S_1 으로 부터 표본 간격이 Δ 인 스플라인 공간 S_Δ 로의 직교 투영으로 영상의 축척 변환을 정의한다. 두 가지 표본화 격자에서 신호는 각각의 표본값 $s_1(k)$ 와 $s_\Delta(k)$ 로 표현되며 다음과 같은 기본 스플라인(cardinal spline) 표현식으로 나타낼 수 있다.

$$s_1^n(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} s_1(k) \eta^n(x-k) \quad (2)$$

$$s_\Delta^n(x) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} s_\Delta(k) \eta^n(x/\Delta - k)$$

여기에서 n 은 스플라인의 차수를, $\eta(x)$ 는 기본 스플라인을 나타낸다. 축척 변환은 $s_1(k)$ 로부터 $s_\Delta(k)$ 를 구함으로써 수행되며 이 과정은 전처리 필터, 선형 전개 및 재표본화, 후처리 필터의 단계로 구성된다[6]. 이차원 신호의 경우, 식 (2)이 가분(separable) 형태이므로 수평과 수직 방향에 대해 반복 적용하여 보간을 수행한다. 본 논문에서는 삼차 스플라인 보간 방법을 사용하였다.

3. 비선형 보간

연속 계단 경계 모델 (continuous step edge model)

그림 2에 나타난 이차원 연속 계단 경계 모델은 네 계수값 A, B, ρ, θ 로 정의된다.

$$S(x, y, A, B, \rho, \theta) = \begin{cases} A, & x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \geq \rho \\ B, & x \cos(\theta) + y \sin(\theta) < \rho \end{cases} \quad (3)$$

여기서 x 와 y 는 직교 좌표계에서의 좌표를 나타낸다. 즉 식 (3)은 그림 2에 나타난 바와 같이 원점에서 거리 ρ 만큼 떨어져 있고, x 축의 양의 방향과 이루는 각이 θ 인 직선 경계를 나타내며 이를 기준으로, 원점을 포함한 쪽의 밝기는 B 이며, 그렇지 않은 쪽의 밝기는 A 이다. 먼저, $\theta = 0$ 인 경우를 정의하고, 임의의 θ 로 일반화한

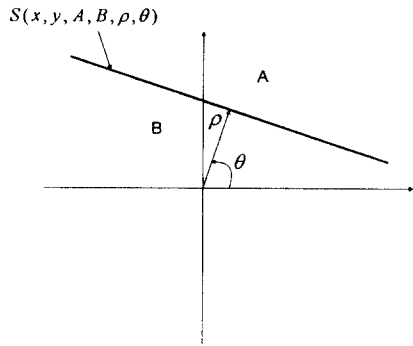


그림 2. 연속 공간에서 정의된 경계 모델.
Fig. 2 Edge model defined in continuous space.

다. 원점으로부터 일정한 거리 $R=(2+1)/2$ 상에서의 밝기는 다음과 같이 ϕ 에 대한 1차원 주기 함수로 표현된다.

$$S(\phi, P_0) = \begin{cases} A & -\sigma \leq \phi < \sigma \\ B & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (4)$$

여기에서, $\sigma = \cos^{-1}(\rho/R)$ 이다. $S(\phi, P_0)$ 는 주기 함수이므로 정규 직교 기저를 이용하여 나타낼 수 있다. 고차항을 제거한 기저를 이용하여 $S(\phi, P_0)$ 는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$S(\phi, P_0) = \sum_{n=0}^4 a_n(P_0) B_n(\phi) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} B_0(\phi) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \\ B_1(\phi) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos(\phi) \\ B_2(\phi) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin(\phi) \\ B_3(\phi) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cos(2\phi) \\ B_4(\phi) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sin(2\phi) \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 $a_n(P_0) = \langle S(\phi, P_0), B_n(\phi) \rangle = \int_0^{2\pi} S(\phi, P_0) B_n(\phi) d\phi$ 이다. 기하학적인 관계를 이용하여 수직 경계 모델을 다음과 같이 얻는다.

$$\begin{aligned} \sigma &= \cos^{-1} \frac{a_3(P_0)}{a_1(P_0)} \\ \rho &= R \frac{a_3(P_0)}{a_1(P_0)} \\ \delta &= \frac{\sqrt{\pi} a_1(P_0)}{2 \sin(\sigma)} \\ B &= \frac{1}{2\pi} [\sqrt{2\pi} a_0(P_0) - 2\sigma\delta] \\ A &= \delta + B \end{aligned} \quad (7)$$

$\theta \neq 0$ 인 경우, 다음과 같은 회전 기저와 비회전 기저 사이의 관계식이 성립한다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(2\theta) & \sin(2\theta) \\ 0 & 0 & 0 & -\sin(2\theta) & \cos(2\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0(\mathbf{P}) \\ a_1(\mathbf{P}) \\ a_2(\mathbf{P}) \\ a_3(\mathbf{P}) \\ a_4(\mathbf{P}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0(P_0) \\ a_1(P_0) \\ a_2(P_0) \\ a_3(P_0) \\ a_4(P_0) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$a_2(P_0)=0$ 이므로, 식 (8)을 이용하면, $a_2(\mathbf{P})\cos(\theta) - a_1(\mathbf{P})\sin(\theta)=0$ 이 성립하며 경계의 방향 θ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a_2(\mathbf{P})}{a_1(\mathbf{P})} \right) \quad (9)$$

이산 계단 경계 근사화

디지털 영상 신호를 다루기 위해서는 앞에서 언급한 연속 스텝 신호를 이산적인 값으로 근사화하여야 한다. 연속 경계 모델은 반지름이 R 인 원상의 밝기 변화로 정의되므로 이를 이산 표본점으로 근사화하기 위해서 다음과 같이 가정한다. 먼저 경계 모델의 반지름을 $(1+\sqrt{2})/2$ 로 놓고 각 화소의 밝기가 화소의 중심으로부터 $(\sqrt{2}-1)/2$ 내에서는 상수값이라고 하면 3×3 표본 윈도우 $W[m, n]$ 의 중심을 제외한 8개의 점은 연속 경계 모델상의 밝기를 나타내는 점으로 생각할 수 있다. 그림 3과 같은 표본 윈도우 W 에 대해 직교 기저 B_i 의 계수 $a(\mathbf{P})$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$a_i(P) = \langle W, M_i \rangle = \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 W[m,n] M_i[m,n] \quad (10)$$

여기서 이산 마스크 M_i 는 그림 4에 표시되어 있다. 가중치 α 와 β 는 다음과 같다.

$$\begin{cases} \alpha = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{2}} \\ \beta = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \end{cases} \quad (11)$$

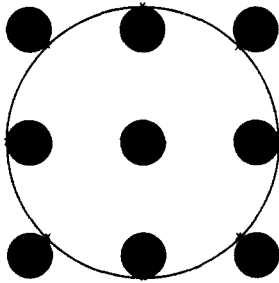


그림 3. 경계 분석 영역.
Fig. 3 Edge analysis area.

α	α	α
α	0	α
α	α	α

M_0

$-\alpha$	0	α
$-\beta$	0	β
$-\alpha$	0	α

M_1

α	β	α
0	0	0
$-\alpha$	$-\beta$	$-\alpha$

M_2

0	$-\beta$	0
β	0	β
0	$-\beta$	0

M_3

$-\beta$	0	$-\beta$
0	0	0
$-\beta$	0	$-\beta$

M_4

그림 4. 이산 경계 마스크.
Fig.4 Discrete edge mask.

식 (7)을 이용하면 계수 $a(P)$ 로부터 연속 경계 모델의 ρ, θ, A, B 값을 얻을 수 있으며 이 모델을 확대 보간 격자점에 투영하여 그림 5(d)와 같이 경계 영역에 대한 이상적인 보간을 수행할 수 있다.

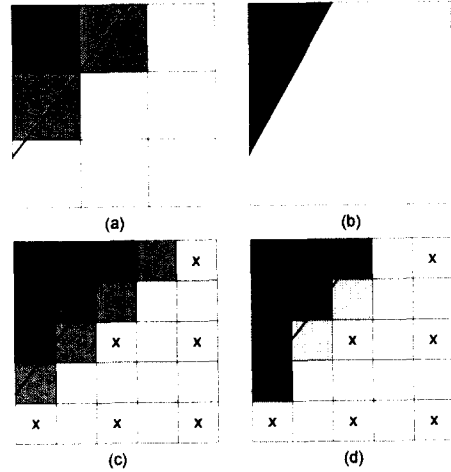


그림 5. 계단 경계 보간 격자.
Fig. 5 Interpolation grid for step edge.

4. 선형 보간과 비선형 보간의 정합

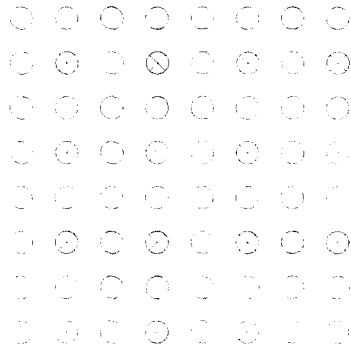
표본간격이 1인 S_1 공간에서의 위치를 (x, y) 로, 표본간격이 Δ 인 S_Δ 공간에서의 대응 위치를 (x', y') 로 정의하면, 기본적으로 축척에 따른 위치 변환은 $x' = x/\Delta$ 이지만, 최적 축척 변환에서 사용하는 좌표계는 원점이 (1, 1)인 경우에 대해 식을 전개하였으므로, 원점이 (0, 0)인 비선형 보간과의 보간 위치를 맞추기 위해서는 원점에 대한 보상이 필요하다. 그림 6은 선형 보간의 격자점 위치와 비선형 보간의 격자점 위치를 각각 나타낸 것이다. 원점이 (0, 0)으로 정의되는 경우 두 좌표계 사이의 좌표 변환은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/\Delta & 0 \\ 0 & 1/\Delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x+1 \\ y+1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

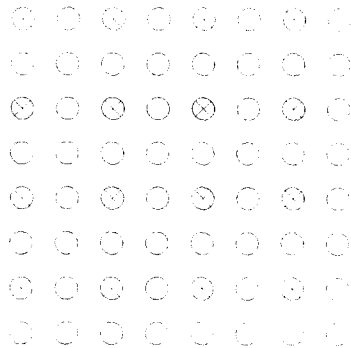
3x3 영역에 대해 비선형 모델을 사용하여 $1/\Delta$ 배 보간하는 과정은 다음과 같다.

- 3x3 영역에 대해 이산 경계 모델 정합을 수행한다.

- 3x3 영역에 대응되는 확대 영역에서의 좌표 범위를 계산한다.
- 확대 영역의 격자점에 대해 3x3 영역내의 대응 위치를 계산하고 이산 경계 모델을 사용하여 밝기값을 결정한다.



(a) LSSC 에서의 표본 격자점



(b) 계단 경계 모델에서의 표본 격자점

그림 6. 표본 격자점 위치.

Fig. 6 Position of sampling grid.

3x3 영역에 대응되는 확대 영역에서의 좌표 범위는 다음과 같이 주어진다.

$$\lfloor x/\Delta - 1 \rfloor \leq x' \leq \lceil (x+2)/\Delta - 1 \rceil \quad (13)$$

$$\lfloor y/\Delta - 1 \rfloor \leq y' \leq \lceil (y+2)/\Delta - 1 \rceil \quad (14)$$

여기에서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 작지 않은 최소의 정수를 뜻하며, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크지 않은 최대의 정수를 뜻한다. (x, y) 는 축척이 1인 공간에서의 좌표를 나타내며, (x', y') 은 축척이 Δ 인 공간에서의 격자점 좌표를 나타낸다. 3x3

영역을 한 화소 단위로 이동시키면서 보간하면 확대 영역이 서로 겹치게 되므로 각각의 위치에 대해 겹치는 횟수와 누적 밝기값을 계산하고 모든 영역에 대한 보간이 끝난 후 평균 밝기값을 구하여 보간한다. 이렇게 함으로써 작은 경계 영역을 모델링함으로써 발생하는 오차를 줄일 수 있다.

각 확대 보간 격자점마다 비선형 모델 적용 횟수 n 과 누적 밝기값이 주어지므로, 최종적인 확대 보간 결과는 n 이 0인 경우, 즉 경계 영역이 아닌 경우, 선형 보간 결과를 사용하고, n 이 1 이상인 경우, 누적 밝기값을 n 으로 나눈 결과와 선형 보간 결과의 가중 평균값을 사용한다.

$$I(x, y) = \begin{cases} (1-\alpha)I_l(x, y) + \alpha I_n(x, y), & n \geq 1 \\ I_l(x, y), & n = 0 \end{cases} \quad (15)$$

여기에서 $I_l(x, y)$ 는 선형 보간 결과, $I_n(x, y)$ 는 비선형 보간 결과를 나타내며, α 는 선형 보간과 비선형 보간의 가중치를 나타낸다. α 값은 다수의 영상에 대해 실험적으로 결정하였으며, 0.1~0.3 정도의 값에서 좋은 결과를 나타낸다.

III. 실험 결과

실험에는 영상처리 분야에서 널리 사용되는 표준 영상과 삼성 케녹스 디지털 카메라 SSC-410N을 사용하여 취득한 영상을 사용하였다. 표준 영상에 대한 실험에서는 해상도 향상을 정량적으로 비교하기 위하여, 높은 해상도의 영상(512x512)을 낮은 해상도(256x256)로 다운 샘플링한 영상을 만들고, 이 영상으로부터 복원한 고해상도의 영상과 원영상 사이의 PSNR(Peak-Signal-to-Noise-Ratio)를 구하였다. 또한 정수가 아닌 배율에 대해 실험하기 위해서 $1/\sqrt{2}$ 배로 축소했다가 다시 $\sqrt{2}$ 배하여 확대하는 경우에 대해서도 실험하였다. 알고리즘 비교를 위하여 쌍일차 보간, 삼차 스플라인 보간, 최소 자승 스플라인 보간(LSSC), 제안한 알고리즘을 구현하여 실험하였다. 표 1은 Lena 영상에 대해서 각각의 보간 방법으로 1/2 축소 후 2배 확대하여 원영상과의 오차를 비교하여 나타낸 것이다. 표 2는 검은 바탕에 흰색 원이 있는, 불연속성이 높은 컴퓨터 그래픽

영상에 대한 축소/확대 실험 결과를 나타낸 것이다. 제안한 해상도 향상 방법(선형 보간과 비선형 보간의 조합)을 사용한 결과가 다른 선형 처리 방법에 비해 표준 영상의 경우 0.1~0.2dB, 컴퓨터 합성 경계 영상의 경우 2~10dB 정도 개선된 SNR 성능을 보여줌을 알 수 있다.

표 1. Lena 영상의 축소/확대 성능 비교.

Table 1. Reduction/enlargement performance for Lena image.

보간 방법	PSNR (dB)	SNR (dB)
BiLinear	26.498	11.965
Cubic	33.871	19.338
LSSC3	35.594	21.062
제안한 방법	35.741	21.208

표 2. Circle 영상의 축소/확대 성능 비교.

Table 2. Reduction/enlargement performance for Circle image.

보간 방법	PSNR (dB)	SNR (dB)
BiLinear	30.207	20.222
Cubic	37.468	27.483
LSSC3	38.392	28.408
제안한 방법	40.168	30.183

표 3. 비정수배 축소/확대 성능 비교.

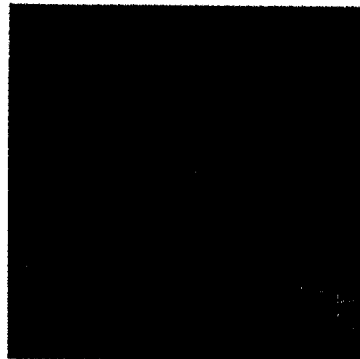
Table 3. Non-integer scale reduction/enlargement performance.

영상	LSSC3 의 PSNR (dB)	제안한 방법의 PSNR (dB)
LENA	39.696	39.745
PEPPER	36.446	36.505
Airplane	38.271	38.338
Circle	42.189	43.211

축소/확대 배율이 정수가 아닌 경우에 대한 실험에서는 영상을 1/2 배로 축소했다가 다시 2 배하여 확대하여 제안한 알고리즘과 최소 자승 스플라인 보간 방법을 비교하였다. 표.3은 여러 가지 표준 영상과 컴퓨터 합성 영상에 대해 실험한 결과를 나타낸 것이다.



(a) 원영상



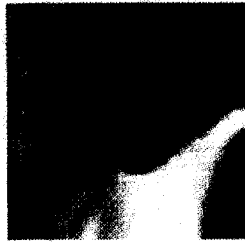
(b) 1.6 배 확대한 영상 (LSSC3)



(c) 1.6 배 확대한 영상 (제안한 방법)

그림 7. 저해상도 CCD 영상 확대 결과.

Fig.7. Low resolution image enlargement result.



(a) 원영상



(b) 비선형 보간 적용 전



(c) 비선형 보간 적용 후

그림 8. 저해상도 CCD영상 확대 결과.

Fig. 8 Low resolution image enlargement result.

VGA급(640×480) 해상도를 갖는 디지털 카메라로 취득한 영상에 대한 실험에서는 최소자승 스플라인 보간 방법과 제안한 방법을 비교하였다. 실험에 사용한 배율은 확대된 결과가 XGA급(1024×768) 해상도를

갖도록 1.6배로 하였다. 그림 7는 확대전의 영상과 두 가지 방법으로 확대한 영상의 일부분을 나타낸 것이다. 최소 자승 보간의 경우 저해상도 CCD가 갖는 에일리어싱 특성이 그대로 확대되어 경계 주변에 계단현상이 심하게 나타나는 것을 알 수 있으며, 제안한 방법의 경우 에일리어싱 성분을 제거하고 확대 보간하여 눈에 거슬리는 성분이 많이 줄어들었음을 알 수 있다. 그림 8은 비선형 보간을 수행하기 전의 결과와 적용한 후의 결과의 일부분을 확대하여 나타낸 것이다. 일반적으로 에일리어싱 제거에는 저역 통과 필터가 사용되며 이에 따른 경계 주변의 번짐 현상이 나타나게 되지만, 제안한 방법에서는 선형 보간 후 경계 모델에 기반한 비선형 보간을 적용함으로써 무더진 경계의 밝기 변화가 보다 선명하게 되며, JPEG 부호화 시 발생하는 블록화 현상, 경계 부근의 잡음 등도 줄어드는 효과를 갖는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 확대된 저해상도 CCD 영상의 화질 향상을 위하여 에일리어싱 필터, 최소 자승 스플라인 보간, 비선형 경계 보간으로 구성되는 영상 확대 알고리즘을 제안하였다. 표준 영상에 대한 실험에서 기존의 선형 보간에 대해 약 0.1~0.2 dB 정도의 향상이 있었으며, 컴퓨터로 합성한 경계 영상에 대한 실험에서는 2~10 dB 성능 향상이 있었다. 비선형 보간의 경우 비교적 작은 영역(3×3)에 대해 경계를 모델링하기 때문에 경계의 방향이나 세기를 측정하는데 있어서 오차가 발생하며, 이로 인해 경계 부근의 밝기값으로 비선형 보간 결과만을 사용할 경우 좋아지는 부분과 그렇지 못한 부분이 생기게 된다. 경계 영역에 대해 선형 보간 결과와 비선형 보간 결과를 일정 비율로 적용함으로써 잘못된 경계 정합 때문에 발생하는 화질 저하를 줄였다. 저 해상도 CCD 영상의 확대에서는 에일리어싱 필터를 적용함으로써 영상 확대 시 발생하는 화질 저하를 줄였으며, 저역 통과 필터에 의한 경계의 번짐 현상을 경계 모델을 이용한 보간을 통해 줄임으로써, 보다 선명한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘을 디지털 카메라에 담

재할 경우, VGA 급(640×480) CCD를 사용하여 XGA 급(1024×768) 화질에 준하는 영상을 얻을 수 있으므로 가격 대비 성능 개선의 효과가 기대된다. 또한 JPEG 부호화 시 발생하는 블록화 현상, 경계 부근의 잡음 등에도 강한 특성을 갖고 있으므로 기존의 디지털 카메라 화질의 소프트웨어적인 보완에도 적합할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. A. J. Jerri, "The Shannon Sampling Theorem-Its various extensions and applications: A tutorial review," Proc. IEEE, vol. 65, pp.1565-1596, Nov. 1977.
2. M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "Polynomial Spline Signal Approximations: Filter Design and Asymptotic Equivalenc with Shannon' s Sampling Theorem," IEEE Trans. Information Theory, vol. 38, pp.95-103, Jan. 1992.
3. R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-29, pp. 1153-1160, 1981.
4. M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "B-Spline Signal Processing: Part II-Efficient Design and Applications," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 41, pp.834-848, Feb. 1993.
5. H. S. Hou and H. C. Andrews, "Cubic splines for image interpolation and digital filtering," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-26, pp. 508-517, 1978.
6. M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "Enlargement or Reduction of Digital Images with Minimum Loss of Information, " IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp.247-258, Mar. 1995.
7. M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "Fast B-Spline Transforms for Continuous Image Representation and Interpolation," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 13, pp.277-285, Mar. 1991.
8. M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "The Polynomial Spline Pyramid," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 15, pp.364-379, Apr. 1993.
9. K. Bowyer and N. Ahuja, Advances in Image Understanding. IEEE Computer Society Press, pp.94-112, 1996.
10. K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel Edge Localization and the Interpolation of Still Images," IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp.285-295, Mar. 1995.



전 준 근 (Jun Geun Jeon) 정회원
 1970년 8월 5일생
 1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1995년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1998년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1998년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 무선·방송기술연구소 박사후 연구연구원
 *주관심 분야 : 영상 처리, 컴퓨터 시각, Motion Analysis
 e-mail: jgjeon@video.etri. re. kr



최 영 호 (Youngho Choi) 정회원
 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1991년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1998년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 *주관심 분야 : 영상 처리, Computer Vision, VLSI 설계



김 한 주 (Han Joo Kim) 정회원

1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)

1984년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1984년 1월~1996년 2월 : LG정보

통신(주) 책임연구원

1996년 3월~현재 : 안산공업전문대학 전자통신과 전
임강사

1996년 9월~현재 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 디지털 비디오 처리, 영상 처리

박 규 태 (Kyu Tae Park)

정회원

현재 : 연세대학교 전자공학과 교수

한국통신학회 논문지 제 22권 7호 참조