

# 에지 센서티브 이미지 보간 (An Edge Sensitive Image Interpolation)

박 세 희<sup>†</sup>      김 용 하<sup>\*\*</sup>  
(Sehee Park)      (YongHa Kim)

이 상 훈<sup>\*\*\*</sup>  
(SangHoon Lee)

**요약** 본 연구에서는 에지 성분의 추출을 보다 섬세하게 처리함으로써 이미지 화질을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 제안 방법은 고전적인 보간을 응용한 ESII(Edge Sensitive Image Interpolation)으로 보간 커널 식에서 고정된 매개 변수를 사용하지 않고 주변 화소 값으로 부터 적절한 정보를 얻어내서 매 화소마다 매개변수를 변화시킨다. LSE(Least Square Error)를 이용하여 CME(Camera Modelling Error)를 최소화 하도록 보간 할 화소 값을 결정함으로써 이미지를 복원하며, 기존 방법에 비교하여 객관적, 주관적 화질이 우수함을 실험, 제시하였으며 또한 영상을 1차원 정보로 분리하여 고려한 결과 계산상의 복잡도를 줄이는 효과를 기대할 수 있다.

**키워드** : 이미지 보간, 에지 탐지, 카메라 모델링 에러, 최소오차 자승

**Abstract** In this study, we proposes the method to improve the quality of the image through the edge extraction more delicately. Our method is named ESII (Edge Sensitive Image Interpolation) and doesn't use the fixed parameter of the interpolation kernel. However, it changes the parameter of pixel which is interpolated to the high definition image using the proper information

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 'Edge 센서티브 이미지 보간'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 비 회 원 : 국방대학교 전산정보학과  
psh0439@gmail.com

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과  
sigkim@gmail.com

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 국방대학교 전산정보학과 교수  
hoony@kndu.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일

심사완료 : 2009년 3월 1일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 래터 제 15권 제4호(2009.4)

from the surrounding pixels. It reconstructs the image by using the LSE(Least Square Error) and determining the pixel values to make the CME(Camera Modelling Error) minimized. Compared to the conventional methods, suggested method shows the higher quality of subjective and objective image definition and lessens the computational complexity by separating the image into 1-D data.

**Key words** : Image interpolation, edge detection, CME(Camera Modeling Error), LSE (Least square error)

## 1. 서론

최근 영상처리 기술, 컴퓨터 비전 분야의 발전에 힘입어 전장정보체계 및 무기체계에 장착된 카메라를 활용한 보다 정밀한 전장감시활동이 증대되고 있다. 위성, UAV 영상의 해상도는 탑재된 카메라의 해상도에 전적으로 의존하고 있으며, 보다 높은 해상도의 영상을 얻기 위해 서는 카메라의 기능외에도 획득된 데이터를 최적화 하는 복원방법, 즉 이미지 보간이 요구된다.

이와 같이 저해상도의 이미지로부터 고해상도의 이미지를 얻는 것을 이미지 보간이라고 하며, 최근근(near-est neighbor), 선형(linear), 그리고 B-spline과 같은 전통적인 보간 방법 등은 구현이 간단하여 많이 활용되어 왔으나, 이미지를 흐리게 만드는 단점을 가지고 있다. 비교적 근래에 연구된 Edge map, Wiener filter를 활용한 보간 방법들은 주관적인 화질은 뛰어나나 계산상의 복잡도가 증가하여 실제 하드웨어 구현에 어려움이 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 저 복잡도와 우수한 화질을 보장하는 새로운 보간 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 전통적인 보간 방법들이 고정된 보간 커널을 사용함으로써 인해 야기되었던 문제점들을 해결하고, 동시에 기존 보간법들의 복잡도 문제를 해결하기 위하여 먼저 2차원의 이미지 정보를 열과 행의 1차원 정보로 각각 나누었다. 1차원 영상의 실제 화소와 카메라 모델링을 통해 추정된 화소값과의 차이를 카메라 모델링 에러(Camera Modeling Error: CME)라 하고 이 에러를 최소화 하도록 LSE를 이용하여 보간하였다. 다수의 이미지에 대한 실험결과 제안된 방법은 기존의 보간법(Bilinear, Bicubic 보간법)에 비하여 화질의 개선효과를 얻을 수 있었다.

## 2. 관련 연구

전통적인 보간법은 이미지를 흐리게 하거나 왜곡의 단점이 있어 관련 연구된 Edge map 방법과 Wiener filter에 대해서 살펴본다.

2.1 Edge map을 이용한 이미지 보간

Edge map을 이용한 이미지 보간과 관련하여 여러 논문 중 가장 대표적인 것으로 Jan Allebach와 Ping Wah Wong이 1996년 IEEE에 발표한 Edge-Directed Interpolation이라는 방법이 다[1-3].

그림 1은 Jan Allebach와 Ping Wah Wong가 제시한 edge 기반 이미지 보간의 메인 블록 다이어그램이다.

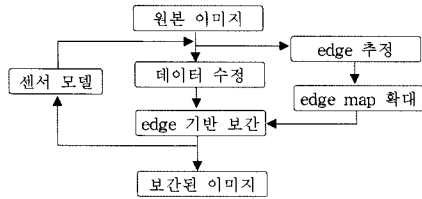


그림 1 메인 블록 다이어그램

먼저 COSO(center-on-surround-off) filtering을 통해 0을 지나는 화소간의 위치(zero-crossing)를 찾는다. 그림 2는 zero-crossing 지점을 찾는 방법을 보여주는 설명이다.

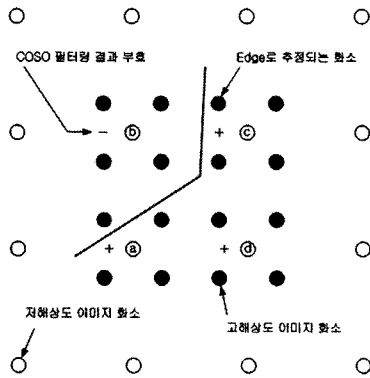


그림 2 zero-crossing 지점 확인

COSO filter링을 하면 각 화소는 양과 음의 부호값을 가지게 된다. 그림 2의 b와 c 화소의 경우처럼 두 화소 사이의 부호가 바뀌면 그 사이에 edge가 있다고 판단한다. edge의 정확한 위치는 양의 화소값과 음의 화소값을 선형적으로 연결할 때 0을 지나는 지점이며 이 때 찾은 위치와 가장 가까운 고해상도 이미지 화소를 edge가 지나가는 화소로 결정한다.

2.2 Wiener filter 이론을 이용한 이미지 보간

이미지 보간 방법 중 2001년 미국 프린스턴 대학의 Xin Li와 Orchard가 IEEE에 발표한 New Edge-Directed Interpolation이라는 논문은 Wiener filter 이론과 Geometric Duality에 근거를 두고 있다[4,5].

Wiener filter이론에 따르면, LMMSE(linear minimum mean square error)filter에 있어 입력값과 출력값의 관계는 다음과 같다[6,7].

$$\hat{s}(n_1, n_2) = \sum_{i_1=-\infty}^{\infty} \sum_{i_2=-\infty}^{\infty} h(i_1, i_2)g(n_1 - i_1, n_2 - i_2) \quad (1)$$

$g(n_1 - i_1, n_2 - i_2)$ : 현재 잡음이 있는 이미지

$\hat{s}(n_1, n_2)$ : 현재 이미지로부터 이상적인 이미지를 예측한 값

$h(i_1, i_2)$ : filter의 임펄스 응답

이때 이상적인 이미지  $s(n_1, n_2)$ 와 예측값  $\hat{s}(n_1, n_2)$  간의 에러는  $e = s(n_1, n_2) - \hat{s}(n_1, n_2)$ 이며, 직교성(orthogonality)에 의해 식 (2)이 구해진다.

$$E s(n_1, n_2)g(k_1, k_2), \forall (n_1, n_2) \text{ and } (k_1, k_2) \\ = E \sum_{i_1=-\infty}^{\infty} \sum_{i_2=-\infty}^{\infty} h(i_1, i_2)g(n_1 - i_1, n_2 - i_2)g(k_1, k_2) \quad (2)$$

식 (2)을 통해 우리는 에러를 최소화하는  $h(i_1, i_2)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sum_{i_1=-\infty}^{\infty} \sum_{i_2=-\infty}^{\infty} h(i_1, i_2)R_{gg}(n_1 - i_1 - k_1, n_2 - i_2 - k_2) \quad (3) \\ = R_{sg}(n_1 - k_1, n_2 - k_2)$$

Geometric Duality란 같은 기원을 가지는 화소들 간의 고해상도에서의 공분산(covariance)과 저해상도의 공분산은 같을 것이라는 가정이다[5]. 이를 통해 이미지 보간에 필요한 고해상도의 공분산을 저해상도의 공분산으로부터 추정해 낼 수 있는 것이다. 그림 3은 이러한 설명에 대한 도식이다.

그림 3에서  $\hat{r}$ 과  $\hat{r}_0$ 은 식 (3)에서  $g$ 의 고해상도와 저해상도 이미지 화소에서의 자기상관(auto-correlation)을  $r$ 과  $\hat{r}$ 은  $g$ 와  $s$ 의 고해상도와 저해상도에서의 상호상관(cross-correlation)을 나타낸다.

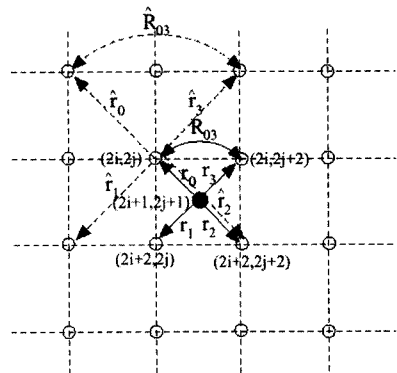


그림 3 Geometric Duality

그림 3에서  $(2i+1, 2j+1)$  위치에 있는 화소는 주변의 4 화소로부터 구할 수 있다. 이는 다시 말해서 구하고자 하는 화소의 예측값을  $\hat{Y}$ , 관측된 값을  $Y$ 라고 할 때

$$\hat{Y}_{2i+1, 2j+1} = \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 \alpha_{2k+l} Y_{2(i+k), 2(j+l)} \quad (4)$$

의 식으로 나타낼 수 있으며, 이는 그림 1과 같음을 직관적으로 알 수 있다. 따라서 여기서 구하고자 하는  $\alpha$  값은 식 (3)을 통해 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\vec{\alpha} = R_{XX}^{-1} \vec{r}_X \quad (5)$$

$$R = [R_{kl}], \quad (0 \leq k, l \leq 3) \text{ and } \vec{r} = [r_k], \quad (0 \leq k \leq 3)$$

여기서 Geometric Duality를 적용하여

$$\hat{R}_{kl} = R_{kl}, \quad \hat{r}_k = r_k \quad (6)$$

를 통해  $\alpha$  값을 구하여 보간한 값  $\hat{Y}_{2i+1, 2j+1}$ 을 구할 수 있다.

### 3. Edge 센서티브 이미지 보간

#### 3.1 기존 방법들의 제한사항

구현의 용이성을 지닌 전통적인 보간 방법들은 일반적인 1-D 신호를 처리하기 위한 것이어서 이미지의 해상도 증가시 이미지 내의 edge부분을 흐리게 하고 새로운 왜곡현상 발생시킨다. Edge map을 이용한 이미지 보간은 노이즈에 취약하며 알고리즘의 복잡도에 비해 뛰어난 성능을 보여주지 못한다. Wiener filter 이론을 이용한 이미지 보간 역시 알고리즘의 구현이 상당히 복잡하고 역행렬 계산에 있어 많은 시간이 소모되는 제한점이 있다.

#### 3.2 에지 센서티브 이미지 보간

그림 4는 행과 열로 나눈 이미지 정보 중 행의 예이며, 제 2단계의 카메라 모델링을 통한 예측단계를 위해 그림의 ●에 해당하는 화소는 선형 보간 방법으로 임의 보간한다. ● 화소에 대한 보간이 끝난 후에는  $y_1$ 와  $y_2$ 사이의 화소값은  $(1-\alpha)y_1 + \alpha y_2$ 로 저장한다.

1단계를 통해 저해상도 이미지로부터 임의로 고해상도 2배 확대 이미지를 만든 상태이다. 이제 3탭 가우시

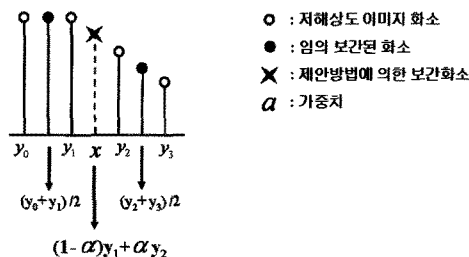


그림 4 선형 및 임의의 보간

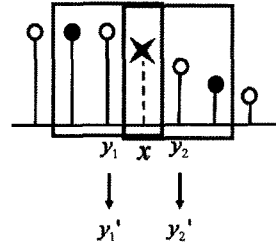


그림 5 카메라 모델링

안 filter를 이용하여 그림 5와 같이  $y_1$ 과  $y_2$ 를 중심으로 카메라 모델링을 수행한다.

그림 5는 3탭 filter를  $y_1$ 을 중심으로 filter링 했을 때의 결과를  $y_1'$ 이라 하고  $y_2$ 를 중심으로 filter링 했을 때의 결과를  $y_2'$ 라 하면  $y_1'$ 과  $y_2'$ 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$y_1' = \frac{y_0 + y_1}{8} + \frac{y_1}{2} + \frac{(1-\alpha)y_1 + \alpha y_2}{4}, \quad (7)$$

$$y_2' = \frac{y_2 + y_3}{8} + \frac{y_2}{2} + \frac{(1-\alpha)y_1 + \alpha y_2}{4}$$

보간한 화소의 값을 결정하는 파라미터  $\alpha$ 를 구하기 위해  $y_1$ 과  $y_2$ 를 원래의 화소로,  $y_1'$ 과  $y_2'$ 를 각각 예측한 화소값으로 두면,  $(y_1 - y_1')$ 과  $(y_2 - y_2')$ 의 카메라 모델링 에러(Camera Modeling Error: CME)를 최소화 하는  $\alpha$ 를 다음과 같이 LSE(Least Square Error)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$e = \left( \frac{y_0 + y_1}{8} - \frac{y_1}{2} + \frac{y_1}{4} + \frac{\alpha(y_2 - y_1)}{4} \right)^2 + \left( \frac{y_1}{4} - \frac{y_2}{2} + \frac{y_2 + y_3}{8} + \frac{\alpha(y_2 - y_1)}{4} \right)^2 \quad (8)$$

식 (7)을 식 (8)에 대입하면,

$$e = (y_1 - y_1')^2 + (y_2 - y_2')^2 \quad (9)$$

이 때, 식 (9)을 간략히 표현하기 위해  $c_0, c_1, c_2$ 라는 변수를 도입하여 다음과 같이 두면,

$$c_0 = \frac{y_2 - y_1}{4}, \quad c_1 = \frac{y_0 - y_1}{8}, \quad c_2 = \frac{2y_1 - 3y_2 + y_3}{8}$$

$e$ 는 다음과 같이 간단히 표현된다.

$$e = (c_0\alpha + c_1)^2 + (c_0\alpha + c_2)^2 = 2c_0^2\alpha^2 + 2c_0(c_1 + c_2)\alpha + c_1^2 + c_2^2 \quad (10)$$

에러를 최소화하는  $\alpha$ 값을 구하기 위하여 양변을  $\alpha$ 에 대해서 편미분하여 "0"으로 두면 LSE를 만족하는  $\alpha$ 를 구할 수 있을 것이다

$$\frac{\partial e}{\partial \alpha} = 2c_0(c_0\alpha + c_1) + 2c_0(c_0\alpha + c_2) = 0 \quad (11)$$

이므로, 
$$\alpha = -\frac{c_1 + c_2}{2c_0} \quad (12)$$

이다. 이 때 만약  $\alpha > 1$ 이면 1로,  $\alpha < 0$ 이면 0으로 map핑하여  $\alpha$ 의 범위를 0과 1 사이로 제한하여 이미지 전체의 DC 값을 유지시킨다. 식 (12)를 통해  $\alpha$ 값을 계산하면 보간할 화소  $x$ 는 다음의 식으로 쉽게 구할 수 있다.

$$x = (1-\alpha)y_1 + \alpha y_2 \quad (13)$$

보간할 화소  $x$ 의 값을 좌우의 두 화소  $y_1, y_2$ 로부터 추정된 개념을 cubic interpolator로 확장하여  $y_0, y_1, y_2$ , 그리고  $y_3$ 로부터 추정한다고 가정하면 그림 6과 같이  $x$ 의 값을 다음과 같이 정의할 수 있다.

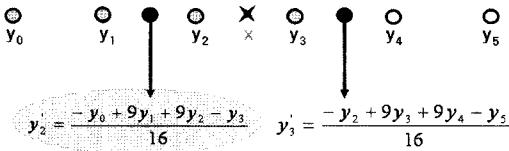


그림 6 cubic interpolator로 개념의 확장

$$x = (1-\alpha)\left(\frac{-y_1 + 9y_2}{8}\right) + \alpha\left(\frac{9y_3 - y_4}{8}\right) \quad (14)$$

앞장에서와 마찬가지로 LSE를 이용하여 에러를 최소화하는  $\alpha$ 값을 유도하기 위해, 예측값  $y_2', y_3'$ 를 구해보면 다음과 같다.

$$y_2' = \frac{-y_0 + 9y_1 + 9y_2 - y_3}{64} + \frac{y_2}{2} + \frac{x}{4}, \quad (15)$$

$$y_3' = \frac{x}{4} + \frac{y_3}{2} + \frac{-y_2 + 9y_3 + 9y_4 - y_5}{64}$$

식 (15)에 식 (14)을 대입, 정리하면 앞서 구한 식 (12)

$$\alpha = -\frac{c_1 + c_2}{2c_0} \text{ 과 동일하다.}$$

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 실험 환경

제한한 보간법의 성능 평가를 위해서 그림 7과 같이 알려진 이미지를 이용하여 실험하였다. 또한 비교 평가를 위하여 일반적인 최근린 보간법, 선형보간법, 큐빅 보간법을 제안된 방법과 비교하였다. 비교 평가 실험 방법으로 먼저 원래 크기의 영상을 저역 필터링 수행 후 2:1 간축한 영상을 얻는다.

PSNR을 측정시, Down sampling, 임의보간, 카메라 모델링에 대해 어떻게 간축을 할 것인지를 결정해야 하는데, 이 3가지 요소를 결정하기 위해서 간축(down sampling)은 (1,2,1)/4로, 임의 보간은 (1,1)/2와 (-1,9,9, -1)/16으로, 카메라 모델링은 (1,2,1)/4와 (1,4,6,4,1)/ 16으로 조건을 두고 실험을 하였다. 실험결과 좌우 화소의 임의 보간은 (-1,9,9,-1)/16으로, 카메라 모델링은 (1,2,1)/4로 하는 것이 가장 좋은 결과를 보여 줌을 알 수 있

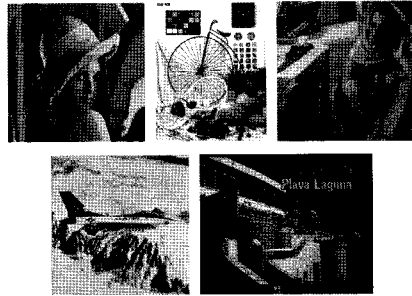


그림 7 측정에 사용된 이미지들: lena, barbara, airplane, bike, hotel

다. 이와 같은 실험 결과가 나온 이유는 카메라 모델링 시 (1,2,1)/4 필터가 (1,4,6,4,1)/16 필터보다 PSF(Point Spread Function) 특성이 좋으며, 실제 카메라의 특성에 가깝다고 할 수 있기 때문이며, 임의 보간은 일반적으로 선형 보간보다 큐빅 보간이 뛰어난 성능을 보이기 때문임을 알 수 있다. 따라서 본 연구방법은 간축시, 카메라 모델링시 (1,2,1)/4 필터를 사용하였으며, 임의 보간 시는 선형과 큐빅보간을 기반으로 각각의 가중치를 적용 테스트를 실시하였다.

### 4.2 PSNR 측정 결과

연구 방법은 여러 표준 이미지를 이용하여 비교 실험 하였다. 본 논문에서 연구한 보간 방법의 성능 분석을 위하여 객관적 지표인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 주관적 지표인 시각적 화질(Visual Quality)을 분석하였고, 연구 방법은 여러 표준 이미지를 이용하여 비교 실험하였다. 먼저 테스트 이미지를 3장에서 설명한 3탭 가우시안 저역통과 필터를 이용하여 필터링하고 가로, 세로 각각 1/2로 간축(down sampling)하여 해상도를 낮춘 후, 간축된 이미지를 선형 보간 방법과 연구한 방법으로 각각 보간하여 PSNR을 측정하였다. 그림 8은 제안된 보간을 위해서 잘 알려진 표준 이미지 5개를 이용한 실험결과이다. 성능평가를 위하여 최근린 보간법,

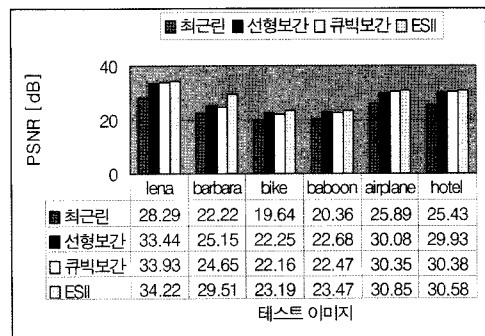


그림 8 전통적 보간/ ESII PSNR 비교

선형보간법, 큐빅보간법을 제안한 보간 방법 ESII와 비교하였다. 비교 평가 실험 방법으로 먼저 크기가 512×512인 원 영상을 저역 필터링 수행 후 2:1로 간축해서 256×256 이미지를 얻는다. 필터링 수행과 간축 방법은 행 방향으로 필터 수행한 후 열 방향으로 필터링 수행하였다.

그림의 도표에서 보듯이 연구한 방법이 전통적인 보간 방법보다 PSNR 차원에서 우수한 결과를 보여 줌을 알 수 있다.

표 1 제안방법의 이미지 개선효과

구 분	최근린보간	선형보간	큐빅보간
ESII개선효과	21.08 %	5.35 %	5.33 %

표 1에서 보듯이, ESII는 최근린 보간법, 선형 보간, 큐빅 보간에 대해 PSNR 값 차원에서 각각 21.08%, 5.35%, 5.33%의 이미지 개선 효과를 볼 수 있었다. 그러나 아무리 PSNR 값이 향상되어도 주관적인 화질의 개선을 의미하지는 않으므로 시각적 화질을 판단하기 위한 실험을 다음 절에서 제시하였다.

4.3 시각적 화질 판단 및 성능분석

객관적 화질 비교 지표인 PSNR 비교에서 우수한 결과를 보여주더라도 이미지 내의 일부분에서 급격한 화질의 저하가 발생한다면 좋은 보간 방법이라 할 수 없을 것이다. 따라서 본 절에서는 표준 이미지를 3탭 가우시안 필터와 decimate 처리한 간축이미지에 대해 실험한 결과, 본 논문의 연구 방법이 실제 이미지 확대 및 분석에 얼마나 효과가 있는지 확인하기 위한 실험을 실시하였다.

간축한 영상의 보간 그림 9를 통해 논문에서 제시한 방법이 기존의 선형 보간 방법보다 이미지 내의 에지 부분에 있어 보다 선명하게 보간 함과 동시에 화질의 열화가 발생하지 않음을 알 수 있었다. 그러나 에지의 선명함은 강조되는 반면, texture 부분은 기존의 연구방법들보다 거칠어지는 단점이 발생되므로 texture를 보완

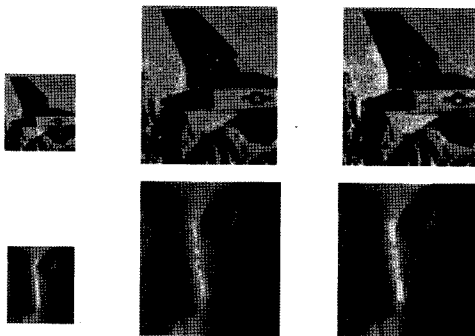
하는 알고리즘을 병행하면 본 연구방법의 제한사항은 극복 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 edge를 추출하기 위한 개선된 보간방법을 제안하였다. 기존의 전통적인 보간방법(Bilinear, Bicubic 등)은 고정된 보간커널을 사용함으로 인해 이미지를 섬세한 edge 성분을 보간하는데 한계가 있었다. 또한 최근에 연구된 방법들(edge map, Wiener filter 이론을 이용한 방법 등)은 주관적인 화질에서는 우수하나 알고리즘이 복잡하여 하드웨어의 구현에 어려움이 따르는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 알고리즘의 복잡도를 줄이고, 주관적인 화질을 보장하기 위해서 새로운 보간 방법을 연구하였다. 본 논문은 LSE를 이용하여 카메라 모델링 에러를 최소화 하도록 보간할 화소값을 결정한 결과, 기존 방법에 비교하여 객관적, 주관적 화질이 우수함을 실험적으로 알 수 있었다. 또한 영상을 1차원 정보로 분리하여 고려한 결과 계산량도 감소하였다. PSNR 차원에서 우수함과 저복잡도는 영상 압축 분야에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 본 연구의 보간방법은 이상과 같은 장점에 반하여 임펄스 노이즈에 민감하게 반응하므로, 이에 대한 보완 알고리즘이 연구된다면 제안된 방법은 보다 좋은 효율을 가진 보간 방법이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. Allebach and P.W. Wong, "Edge-directed Interpolation," in *Proc. IEEE ICIP*, pp. 707-710, 1996.
- [2] J. Allebach and P.W. Wong, "Magnifying digital image using edge mapping," U.S. Patent No. 5,446,804, filed 14 April 1994, granted 29 August 1995, assignee: Hewlett-Packard Company.
- [3] K. Jensen and D. Anastassiou, "Subpixel edge localization and the interpolatin of still images," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.4, pp. 285-295, March 1995.
- [4] Xin Li and M.T. Orchard, "New Edge Directed Interpolation," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.10, No.10, pp. 1521-1527, October 2001.
- [5] D.D. Muresan and T.W. Parks, "Adaptive, Optimal-Recovery Image Interpolation," in *Proc. IEEE ICASSP*, 2001, Utar.
- [6] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Inc., 1989.
- [7] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni, *Image Processing*, John Wiley & SONS, LTD, 1999.



(a) 1/2간축이미지 (b) 선형보간 (c) ESII  
그림 9 간축한 이미지 보간 결과