

논문 2007-44SP-1-3

웨이브렛 기저를 이용한 초해상도 기반 복원 알고리즘

(Super Resolution based on Reconstruction Algorithm Using Wavelet basis)

백 영 현*, 변 오 성*, 문 성 룡**

(Young Hyun Baek, Oh Sung Byun, and Sung Ryong Moon)

요 약

모든 전자 영상응용에는 고해상도 영상이 요구된다. 고해상도는 영상 안에 픽셀의 밀집도가 높음을 나타내며, 이로 인해 더 세밀하고 중요한 정보를 얻어 다양한 응용에 사용된다. 하지만 CCD 나 CMOS 카메라로 획득된 디지털 영상들은 영상인식 시스템 구현 시 많은 저해상도영상을 가지게 된다. 초해상도 기술은 이와 같은 한계를 넘어서서 영상인식시스템에 적용이 가능하다. 초해상도 기술은 다수의 영상으로부터 정보를 결합하여 해상도를 증가시키는 것으로써, 이 기술은 추정과 이동을 위한 정합알고리즘과 획득된 프레임과 현재 프레임의 가중치를 이용한 최소거리 이웃보간법으로 되어있다.

본 논문에서는 초해상도에 웨이브렛 변환 기저 함수 계수를 이용한 영상 보간 기법을 제안하고자 한다. 기존 초해상도 보간 방식 대신 웨이브렛 기저 계수를 적용한 B-스플라인 보간 함수를 이용하여, 움직이는 영상의 한 부분을 확대할 때 정확한 영상과 자연스러운 영상을 구현하기 위하여 적용하였다. 제안된 보간 알고리즘은 최소거리 이웃보간 알고리즘, bilinear 보간 알고리즘, bicubic 보간 알고리즘 적용한 확대 영상보다 우수한 결과를 얻었음을 모의실험을 통하여 확인하였다.

Abstract

In most electronic imaging applications, image with high resolution(HR) are desired. HR means that pixel density within an image is high, and therefore HR image can offer more details that may be critical in various applications. Digital images that are captured by CCD and CMOS cameras usually have a very low resolution, which significantly limits the performance of image recognition systems. Image super-resolution techniques can be applied to overcome the limits of these imaging systems. Super-resolution techniques have been proposed to increase the resolution by combining information from multiple images. To techniques were consisted of the registration algorithm for estimation and shift, the nearest neighbor interpolation using weight of acquired frames and presented frames.

In this paper, it is proposed the image interpolation techniques using the wavelet base function. This is applied to embody a correct edge image and natural image when expend part of the still image by applying the wavelet base function coefficient to the conventional Super-Resolution interpolation method. And the proposal algorithm in this paper is confirmed to improve the image applying the nearest neighbor interpolation algorithm, bilinear interpolation algorithm, bicubic interpolation algorithm through the computer simulation.

Keywords : Super Resolution, interpolation, wavelet, B-spline, registration

I. 서 론

디지털 영상시스템의 많은 응용분야에서 고해상도 영상을 필요로 하고 있다. 고해상도란 영상내의 픽셀 밀도가 높은 것을 의미하며, 이는 더 세부적이고 정교한 처리를 가능하게 한다. 예를 들어 인공위성 관찰영

상과 의료영상 등 정교한 분석을 요하는 영상처리 분야에서 그 필요성이 강조 되고 있다.

1970년 이후, CCD와 CMOS 이미지 센서의 등장으로 디지털 영상과 동영상들의 획득이 쉬워지고, 더 넓은 분야에서 응용되고 있다. 하지만 높은 비용과 정밀 광학기술이 요구되어, 이 한계를 극복하기 위한 기술의 필요성이 대두 되었다^{1,2)}.

초해상도 과정은 관찰되었던 다수의 저해상도의 영상으로부터 고해상도 이미지나 일련의 이미지들을 얻기

* 학생회원, ** 정회원, 원광대학교 전자공학과
(Dept. of electronic Eng. Wonkwang University)
접수일자: 2006년5월9일, 수정완료일: 2006년12월26일

위한 신호처리 기술이다^[1-3]. 이 기술은 추정과 이동을 위한 정합(Registration) 알고리즘과 획득된 프레임과 현재 프레임의 가중치를 이용한 영상 보간으로 구성 되어 있다. 영상 보간은 많은 영상 처리 분야의 응용에서 중요한 역할을 하고 있다. 영상 보간의 정확한 의미는 해상도를 높이거나, 데이터 손실 부분을 복원해서 자연스러운 영상을 얻고자 하는데 있다^[4-7]. 웨이브렛 변환은 신호를 시간과 주파수 영역에서 지역화 하는 장점을 가지고 있고, 웨이브렛 기저함수를 이용하여 신호의 특징 검출을 할 수 있다^[8].

본 논문에서는 기존 초해상도 복원 과정에서 사용된 보간 알고리즘 대신 저해상도 영상의 웨이브렛 기저를 이용한 보간 알고리즘을 제안한다. 본론 1. 에서 초해상도 이론과 방법에 대해 소개하고, 본론 2. 에서 기존 초해상도 복원 과정에 사용된 보간 알고리즘과 제안된 웨이브렛 기저를 이용한 보간 알고리즘에 대해 논하였다. 3장에서 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수함을 확인한다.

II. 본 론

1. 영상 초해상도 이론 및 방법

초해상도는 저해상도 화상 처리 시스템들의 물리적인 한계를 극복하고, 하드웨어 적용에 용이한 고해상도 영상으로 복원하기 위한 기술이다. 이 기술은 저해상도 영상의 픽셀이 상호 이동하거나 위신호가 발생되면, 각 저해상도 영상에 포함되는 새로운 정보로부터 고해상도 영상을 복원할 수 있는 정보를 얻을 수 있게 된다^[1,3].

같은 장면에 관한 다른 정보를 얻는 방법은 그림 1과 같이 다수의 장면을 한 개의 사진기로, 또는 다수의 사진기들로부터 얻게 될 수 있다. 초해상도 기술의 기본

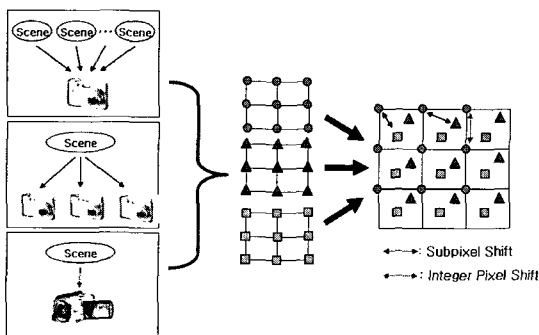


그림 1. 초해상도 기본 전제
Fig. 1. Basic premise for super resolution.

전제는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서 (●)는 참조 영상이고, (■)와 (▲)는 다른 두 영상으로부터 얻은 픽셀의 이동이다. 관측 모델은 저해상도 영상들이 고해상도 영상으로 복원 되는 것을 확인하기 위한 모델이다. 고해상도 영상을 x 라 가정하면, K th의 저해상도 영상은 g_k 라 한다. 이때 복원된 영상의 픽셀 벡터 값은 x 와 y_k 이고, 식 (1)과 같다.

$$g_k = U_k x + n_k \tag{1}$$

여기서, 행렬 U_k 모델은 저해상도 영상을 처리하기 위해 생성된 모델이고 n_k 는 잡음 벡터이다. 이 관측 모델은 그림 2와 같다^[1,9].

그림 2의 움직임(warping)단계에서 이동과 회전 파라미터는 다음과 같다.

시간에 따른 수평 이동 : tx_k

시간에 따른 수직 이동 : ty_k

회전각 : θ_k

관측 모델 g_k 을 이용하여, 기울기 기반의 정합 알고리즘과 보간 알고리즘은 그림 3과 같다^[10-12].

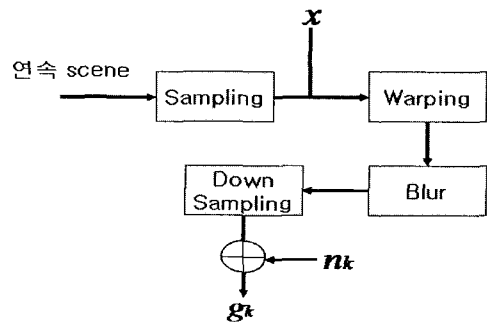


그림 2. 고해상도영상에서 저해상도로 연결 관측 모델
Fig. 2. Observation model relating LR images to HR images.

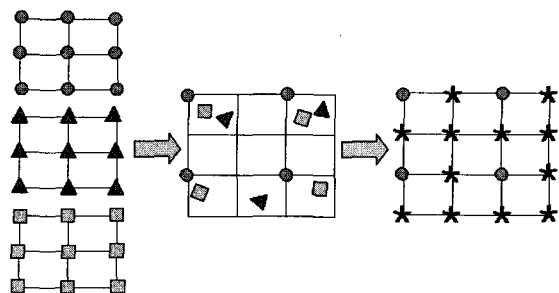


그림 3. 정합와 보간 처리의 표현
Fig. 3. Illustration of registration and interpolation processes.

(*)는 할당 되지 않은 고해상도 픽셀을 정합과 보간에 의해서 얻어지는 보간 값이다. 저해상도 참조 영상 g_1 에서 $k-1$ 일 때, 참조 영상 g_k 의 픽셀 위치는 식 (2)와 같다.

$$g_k(x, y) = g_1(x \cos \theta_k - y \sin \theta_k + tx_k, y \cos \theta_k + x \sin \theta_k + ty_k) \quad (2)$$

식 (2)를 테일러정리에 의해 다시 정리하면, 식 (3)과 같다.

$$g_k(x, y) \approx g_1(x + tx_k - y\theta_k - x\theta_k^2/2, y + ty_k - x\theta_k - y\theta_k^2/2) \quad (3)$$

식 (3)에서 1차 테일러정리를 이용하여, 근사치를 구하면, 식 4와 같다.

$$g_k(x, y) \approx g_1(x, y) + (tx_k - y\theta_k - x\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial x} + (ty_k + x\theta_k - y\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial y} \quad (4)$$

식 (4)에서 g_k 와 변환된 g_1 사이의 오류 표현을 참조하여 일치시키면 식 (5)와 같다.

$$E(tx_k, ty_k, \theta_k) = \sum [g_1(m, n) + (tx_k - n\theta_k - m\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial m} + (ty_k - m\theta_k - n\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial n} - g_k(m, n)]^2 \quad (5)$$

여기서, g_1 과 g_k 는 가우시안 피라미드 구조 특성을 갖는다. M과 N은 수평과 수직 픽셀위치를 나타내며 그림 4와 같다^[13].

가우시안 피라미드의 기반은 원 해상도 영상이며, 2-D 가우시안 커널과 다운 샘플링을 통해 저해상도 영상이 생성된다. 이와 같은 이론들에 기초한 초해상도

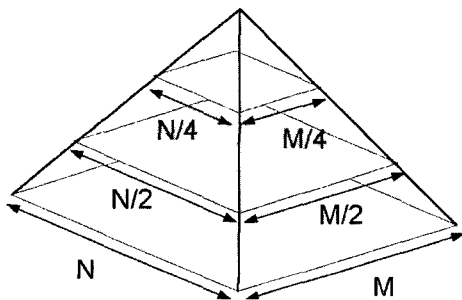


그림 4. 가우시안 피라미드의 다해상도 구조
Fig. 4. Gaussian pyramid multi-resolution structure.

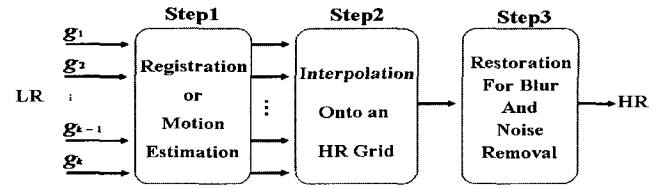


그림 5. 초해상도 기술도
Fig. 5. Scheme for super resolution.

과정은 그림 5와 같다.

2. B-스플라인 보간 알고리즘

많은 신호 처리 응용에서, 불연속 신호 $f(k)$ 를 연속 시간 신호 $f_c(t)$ 의 샘플로 대신한다. 이것은 유일한 표현 방법이 아니므로 $f_c(t)$ 를 보통 smooth 함수로 사용한다. 많은 연구자들이 스플라인 함수의 사용 방법을 제안하고 있다. n 차수의 스플라인은 2개 매듭(knot)사이의 각 구간에서 n 차 다항식과 같고, 이 다항식 매듭에서의 전반적인 함수는 연속적으로 다른 $(n-1)$ 시간에 연관되어 있다. 같은 거리 매듭을 가진 모든 n 번째 차수 스플라인을 Schoenberg에 의해 보여 졌다^[6,7]. $f_c^n(t)$ 는 식(6)과 같다.

$$f_c^n(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) \beta^n(t-k), \quad \forall t \in R \quad (6)$$

여기서 $c(k)$ 는 실수의 l_2 이고, $\beta^n(t)$ 는 n 차수의 중심에 있는 단일 펄스의 n 층 콘볼루션(convolution)으로서 얻어진 중심에 있는 B-스플라인이다.

$$\beta^n(t) = \beta^{n-1} * \beta^0(t) = \beta^0 * \beta^0 * \dots * \beta^0(t), \quad \beta^0(t) = \begin{cases} 1, & \text{for } t \in [-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

위 식에 의해 B-스플라인은 완벽하게 적용되고, 0을 중심으로 함수는 대칭이 된다. $n, m \in N$ 에 대해서, 불연속 B-스플라인 $b_m^n(k)$ 는 m 요소에 의해 확장된 n 번째 차수 연속 B-스플라인에 관련된 적분 샘플의 나열인 $b_m^n(k) = \beta^n(k/m)$ 로 증명되었다^[6]. $f(k), b_m^n(k)$ 그리고 $c(k)$ 의 z -변환은 각각 $F(z), B_m^n(z)$ 그리고 $C(z)$ 로 정의된다. 신호 표현에서 $f_c^n(k) = f(k), \forall k \in Z$ 로 정의하면, 위 식을 식 (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$F(z) = C(z) B_1^n(z) \quad (8)$$

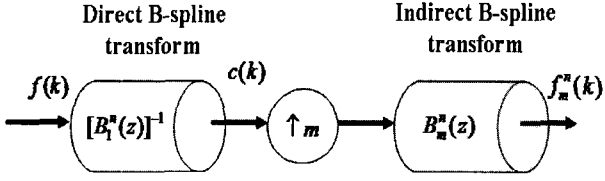


그림 6. B 스플라인 신호보간 블럭도
Fig. 6. Block diagram of B-spline signal interpolation.

모든 $n \in \mathbb{N}$ 에 대한 $B_1^n(z)$ 의 모든 zeros는 실수이고, 부(negative)이며, -1은 아니다. 이는 대칭적인 다항식이기 때문에, $B_1^n(z)$ 가 $z = z_i$ 에서 없으면 $z = z_i^{-1}$ 에도 없게 된다. 그러므로 수렴의 범위를 주위 깊게 선택하면, 원인이 발생하지 않는 IIR을 제외하고 $[B_1^n(z)]^{-1}$ 안정성을 유지하게 된다. B-스플라인 계수 $c(k)$ 는 $[B_1^n(z)]^{-1}$ 에 $F(z)$ 을 곱함으로써 z 평면상에서 direct B-스플라인 변환을 수행함으로써 얻어지게 된다. 신호 $f(k)$ 의 적분 요소 m 에 의한 스플라인 보간은 $f_m^n(k)$ 에 의해 정의된 $f_c^n(k/m)$ 이고, 식 (9)와 같다.

$$f_m^n(k) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} c(l)b_m^n(k-lm) \quad (9)$$

보간을 위한 전체 시스템은 그림 6과 같다.

식(9)에서 보간 신호 재구성의 연산을 indirect B-스플라인 변환이라 하고, 디지털 필터 $B_m^n(z)$ 는 대칭성 FIR라 한다. m 과 n 이 양쪽 다 짝수가 아니면, 식(10)과 같이 분해된다.

$$\begin{aligned} B_m^n(z) &= \frac{z^\alpha}{m^n} \left(\frac{1-z^{-m}}{1-z^{-1}} \right)^{n+1} B_1^n(z) \\ &= z^\alpha m [M_m(z)]^{n+1} B_1^n(z) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $\alpha = (m-1)(n+1)/2$ 이고, 필터 $M_m(z) = (1/m)(1+z^{-1}+\dots+z^{-(m-1)})$ 는 합을 나타낸다. 식(10)에 의해서, $m \geq 3$ 에 대해 분해 식은 연산의 복잡성을 해결 하였다. 디지털 필터 $B_m^n(z)$ 는 입력 신호가 m 번 더 샘플링 한 것을 가지고 있기 때문에 높은 비율에서 동작하게 된다. 그러나 이것은 오류가 많은 필터링 동작을 한다^[14,15].

3. 제안하는 초해상도 기반의 웨이브렛 기저 B-스플라인 보간 알고리즘

현재 초해상도 기술방식은 정합과 보간 알고리즘을

이용하여 저해상도 영상들을 정합하는 방법으로 여러 가지 방식이 제시 되어 있다. 본 논문에서는 식 (1)과 그림 2와 같은 방식을 이용하여 4-프레임 저해상도 관측 모델을 만들었다.

각 저해상도 프레임 영상에서 웨이브렛 기저 계수를 추출하여 새로운 B-스플라인 보간 웨이브렛 방법을 초해상도 복원과정에 적용 하고자 한다. 정합알고리즘은 우수한 성능을 보이는 Keren 정합 알고리즘 이용하였다.

제안된 복원 알고리즘의 우수성을 비교하기 위해 가중치를 이용한 최소거리 이웃보간법, Bilinear보간법, Bicubic 보간법의 결과영상을 비교 데이터로 하였다^[12]. 먼저, 1차원 신호 $f(t)$ 의 웨이브렛은 식 (11)에 의해서 계산된다.

$$\begin{aligned} W_s f(k) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_s(k-t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} \int_{l-1}^l f(l) \psi_s(k-t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \left[\int_{-\infty}^l \psi_s(k-t) dt - \int_{-\infty}^{l-1} \psi_s(k-t) dt \right] \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \left[\int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt - \int_{(k-l+1)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt \right] \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt - \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l+1) \int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} [f(l) - f(l+1)] \psi_{k-l}^s \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\psi_k^s = \int_{k/s}^{\infty} \psi(t) dt$ 이고, $\psi(t)$ 가 홀수함수이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\psi_{-k}^s = \int_{-k/s}^{k/s} \psi(t) dt + \int_{k/s}^{\infty} \psi(t) dt = \psi_k^s \quad (12)$$

2차원 신호에서, $W_{2^j}^i f(x,y)$ 의 계산은 1차원 신호를 계산하는 것 보다 더욱 복잡하게 된다. 그래서 2차원 신호 $f(x,y)$ 는 다음 식(13)로 계산되어진다.

$$\begin{aligned} W_s^i f(n,m) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(u,v) \psi_s^i(n-u, m-v) du dv \\ &= \sum_{k,l} f(k,l) \int \int_{[k,k+1] \times [l,l+1]} \psi_s^i(n-u, m-v) du dv \\ &= \sum_{k,l} f(k,l) \int \int_{[n-k-1, n-k] \times [m-l-1, m-l]} \psi_s^i(u,v) du dv \\ &= \sum_{k,l} f(n-1-k, m-1-l) \psi_{k,l}^{s,1} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서, $\psi_{k,l}^{s,1} = \int \int_{[k,k+1] \times [l,l+1]} \psi_s^1(u,v) du dv$ 이다.

$$= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \psi^1(u,v) dv$$

식(13)에서 $\{\psi_{k,l}^{s,1}\}$ 계산을 유도하는데 있어서, $\psi^1(u, v)$ 는 u 에서 홀수이고, v 에서 짝수이다. 그래서 식 (14)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \psi_{-k,l}^{s,1} &= \int \int_{[-k,-k+1] \times [l,l+1]} \psi_s^1(u,v) dudv \\ &= \int_{k-1}^k du \int_l^{l+1} \psi^1(u,v) dudv \\ &= -\psi_{k-1,l}^{s,1} \end{aligned} \quad (14)$$

유사하게 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\psi_{k,-l}^{s,1} = \psi_{k,l-1}^{s,1}, \quad \psi_{-k,-l}^{s,1} = -\psi_{k-1,l-1}^{s,1} \quad (15)$$

모든 $k, l \geq 0$ 에 대해서 $\psi_{k,l}^{s,1}$ 를 계산해야 하는데, 만약 $\psi(r)$ 을 홀수함수라 하면 다음 식 (16)을 얻을 수 있다.

$$\psi^1(u, v) = \psi(r) \cos \theta \quad (16)$$

여기서, $r = \sqrt{u^2 + v^2}$, $\theta = \arctg \frac{v}{u}$ 이다. $\psi(r)$ 를 이용하여 $\phi(x)$ 를 구하면 다음과 같은 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$\phi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(r) dr \quad (17)$$

이때, $\phi(x)$ 는 짝수함수이고, $\psi(x)$ 는 홀수함수가 된다. 위의 수식을 정리하여 나열하면 다음 식 (18)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial v} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) &= \phi'(r) \frac{u}{r} = \psi^1(u, v) \\ \frac{\partial}{\partial u} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) &= \phi'(r) \frac{v}{r} = \psi^2(u, v) \end{aligned} \quad (18)$$

또한 식 (18)을 식 (11)의 $\psi_{k,l}^{s,1}$ 에 적용하면 식 (19)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \psi_{k,l}^{s,1} &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \frac{\partial}{\partial u} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) dv \\ &= \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \left[\phi(\sqrt{v^2 + (\frac{k+1}{s})^2}) - \phi(\sqrt{v^2 + (\frac{k}{s})^2}) \right] dv \\ &= \phi_{l,k+1}^s - \phi_{l+1,k+1}^s - \phi_{l,k}^s + \phi_{l+1,k}^s \end{aligned} \quad (19)$$

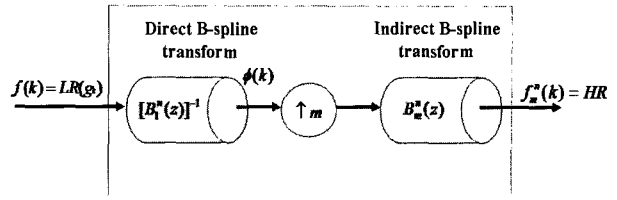


그림 7. 제안된 B-스플라인 보간 블록도
Fig. 7. Block diagram of proposal B-spline signal interpolation.

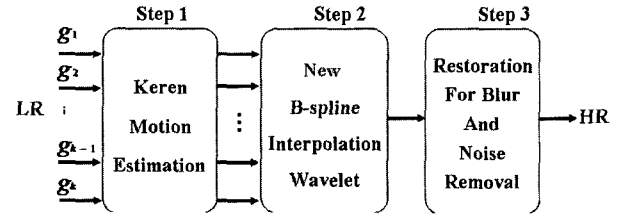


그림 8. 초해상도 복원 시스템
Fig. 8. super resolution Reconstruction system.

여기서 $\phi_{l,k}^s = \int_{\frac{l}{s}}^{\infty} \phi(\sqrt{v^2 + (\frac{k}{s})^2}) dv$ 이다. 그리고

$W_s^2 f(n, m)$ 의 계산은 다음 식과 같다.

$$W_s^2 f(n, m) = \sum_{k,l} f(n-1-k, m-1-l) \psi_{k,l}^{s,2} \quad (20)$$

여기서 $\psi_{k,l}^{s,2}$ 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \psi_{k,l}^{s,2} &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \psi^2(u, v) dv \\ &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} \left[\phi(\sqrt{(\frac{l+1}{s})^2 + u^2}) - \phi(\sqrt{(\frac{l}{s})^2 + u^2}) \right] du \\ &= \phi_{k,l+1}^s - \phi_{k+1,l+1}^s - \phi_{k,l}^s + \phi_{k+1,l}^s \\ &= \psi_{l,k}^{s,1} \end{aligned} \quad (21)$$

위의 모든 조건은 $k, l \geq 0$ 에 대해서 필터링 계수 $\{\phi_{k,l}^s\}$ 를 계산하게 된다. 식 (6)에서 설명한 웨이브렛 변환인

$$f_c^n(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) \beta^n(t-k), \quad \forall t \in R$$

에서 스플라인 계수인 $c(k)$ 를 웨이브렛 기저 함수의 계수로 대신하여 제안된 시스템은 그림 7과 같다.

제안된 보간 알고리즘을 이용하여, 초해상도 기반의 복원 시스템 구성은 그림 8과 같다.

III. 실험

본 실험은 Matlab 7.0과 각기 다른 픽셀을 가진 디지털 영상을 사용하였다. 저해상도 관측 모델은 가우시

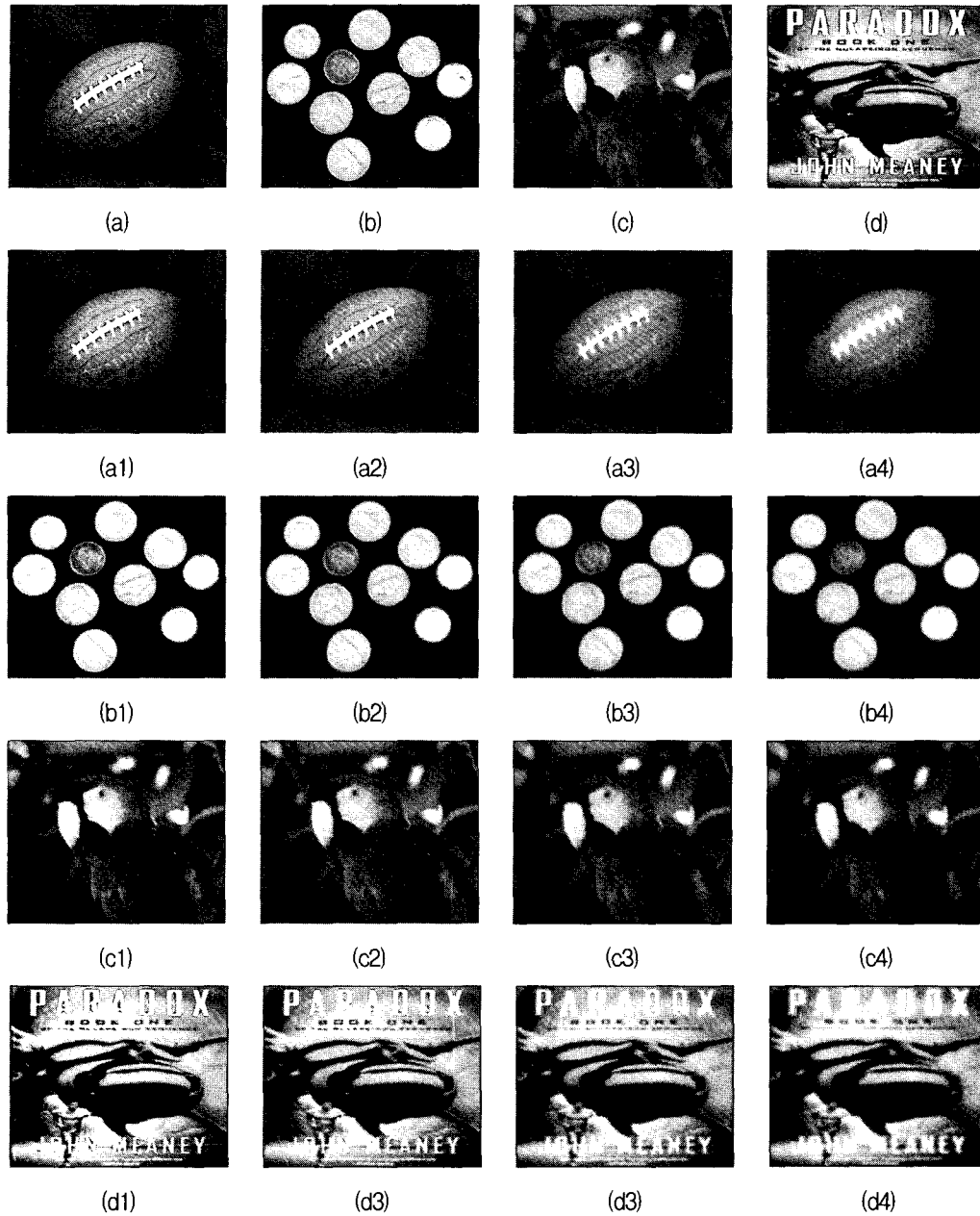


그림 9 저해상도 관측 모델 결과 : (a)풋볼 원영상, (b)코인원영상,(c)앵무새 원영상, (d)책 원영상 (a1,b1,c1,d1) 3x3 가우시안 공간 blur 필터 1차 영상, (a2,b2,c2,d2) 3x3 가우시안 공간 blur 필터 2차 영상, (a3,b3,c3,d3) 5x5 가우시안 공간 blur 필터 1차 영상, (a4,b4,c4,d4)5x5 가우시안 공간 blur 필터 2차 영상

Fig. 9. Result for LR observation model : (a)football Original, (b)Coins Original, (c)Parrot Original, (d) Book Original (a1,b1,c1,d1) 3x3 Gaussian spatial blur filter with unit variance (a2,b2,c2,d2) 3x3 Gaussian spatial blur filter with a variance of two (a3,b3,c3,d3) 5x5 Gaussian spatial blur filter with unit variance (a4,b4,c4,d4) 5x5 Gaussian spatial blur filter with a variance of two.

안 공간 blur필터를 이용하였고, 그림 9와 같다.

그림 9에 의해 얻어진 저해상도 영상은 제안된 초해상도 복원 시스템 1단계 Keren 정합알고리즘을 이용하여, 움직임 파라미터는 표 1과 같다.

제안된 초해상도 복원 시스템 2단계에서 보간 계수(factor)를 2로 하여, 기존 보간 알고리즘인 최소거리 이웃 보간 알고리즘, bilinear 보간 알고리즘, bicubic 보

간 알고리즘과 제안된 알고리즘을 그림 10과 같이 비교하였다. 화질은 정량적인 표현 방법 PSNR (Peak-To-Peak Signal to Noise Ratio)을 이용하였고, 식 (22)와 같다.

$$PSNR=10 \times \log_{10} \left[\frac{255^2}{\frac{1}{XY} \sum_{l=0}^{X-1} \sum_{m=0}^{Y-1} (O(l, m) - I(l, m))^2} \right] \quad (22)$$

표 1. Step 1 처리 중 Keren 움직임 정합 알고리즘을 이용한 움직임 파라미터

Table 1. Step 1 process of Keren estimation algorithm using motion parameters.

Case 1.	football 4 Scene (저해상도 영상)		
Image	x 축 이동	y 축 이동	회전
a1(refer.)	0	0	0
a2	0.937088	0.00511615	0.0080872
a3	-0.9006313	-0.959665	-0.00548417
a4	0.039817	-0.934484	0.00513213

Case 2.	Coins 4 Scene (저해상도 영상)		
Image	x 축 이동	y 축 이동	회전
b1(refer.)	0	0	0
b2	-0.000343899	-0.001318	0.00281121
b3	1.92238	0.946648	0.0217574
b4	1.92846	-0.00880562	0.0475493

Case 3.	Parrot 4 Scene (저해상도 영상)		
Image	x 축 이동	y 축 이동	회전
c1(refer.)	0	0	0
c2	0.000791433	-0.00309509	-0.000155437
c3	0.0249611	0.952822	-0.0215485
c4	0.968135	0.92995	-0.0102115

Case 4.	Book 4 Scene (저해상도 영상)		
Image	x 축 이동	y 축 이동	회전
d1(refer.)	0	0	0
d2	0.915262	-0.00865861	-0.0142858
d3	-0.889276	0.97288	0.030497
d4	-0.854288	0.966042	0.02808

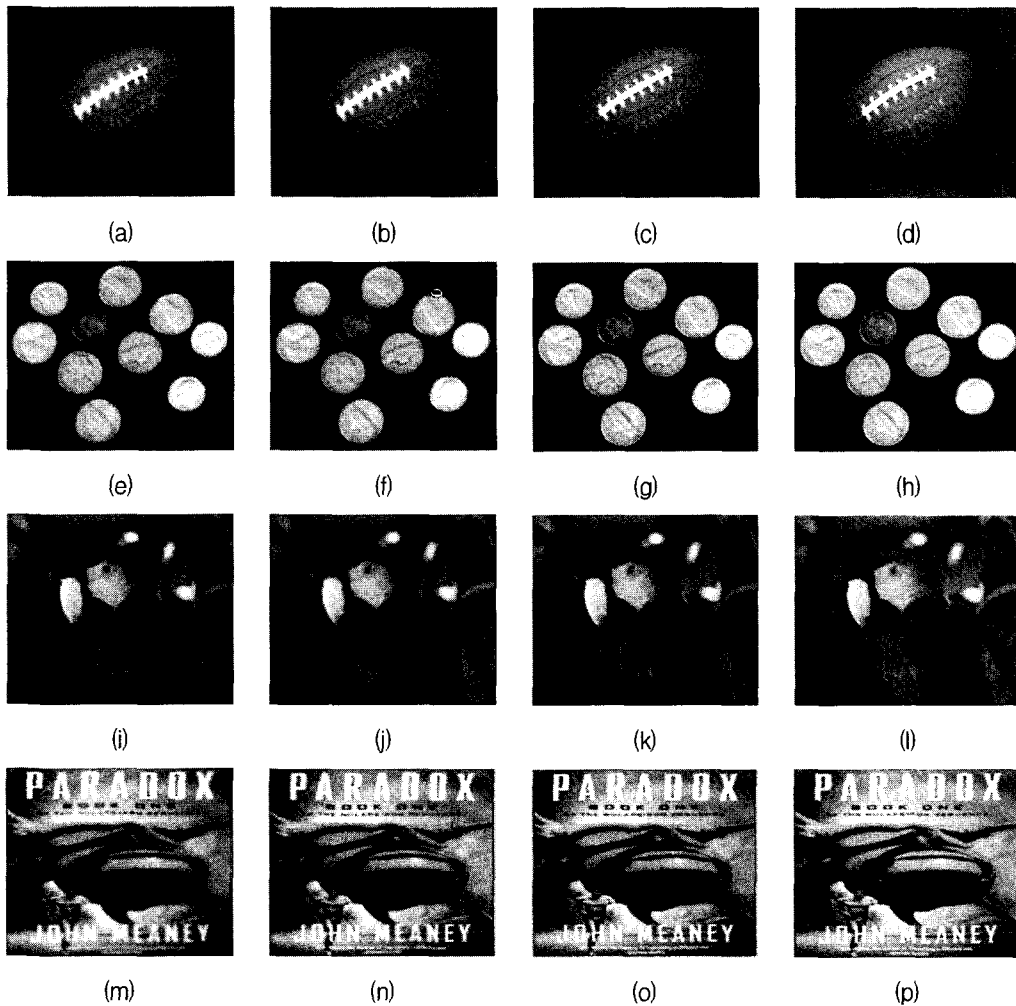


그림 10. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘 비교 : (a,e,i,m) 최소거리 이웃보간법 (b,f,j,n)bilinear알고리즘 (c,g,k,o)bicubic알고리즘 (d,h,l,p) 제안된 알고리즘

Fig. 10. Comparison between the proposed reconstruction algorithm and the conventional algorithm :

(a,e,i,m)nearest neighbor algorithm, (b,f,i,n)bilinear algorithm, (c,g,k,o)bicubic algorithm, (d,h,l,p)proposed algorithm.

표 2. 초해상도를 적용하여 제안한 재구성 알고리즘과 기존 알고리즘 비교

Table 2. Comparison between the proposed reconstruction algorithm and the conventional algorithm.

Reconstruction algorithm (factor=2)					
		최소거리 이웃화소법	bilinear method	bicubic method	proposed method
Case 1.	PSNR	30.4192	30.8884	30.9980	31.4226
	제안한방법 비교 결과	+1.0034	+0.5342	+0.4246	refer.
Case 2.	PSNR	27.9874	27.9564	28.5883	28.7131
	제안한방법 비교 결과	+0.7257	+0.7567	+0.1248	refer.
Case 3.	PSNR	29.637	30.5880	29.4175	32.6595
	제안한방법 비교 결과	+3.0225	+2.0715	+3.242	refer.
Case 4.	PSNR	24.1315	25.7334	24.4994	28.0819
	제안한방법 비교 결과	+3.9504	+2.3485	+3.5825	refer.

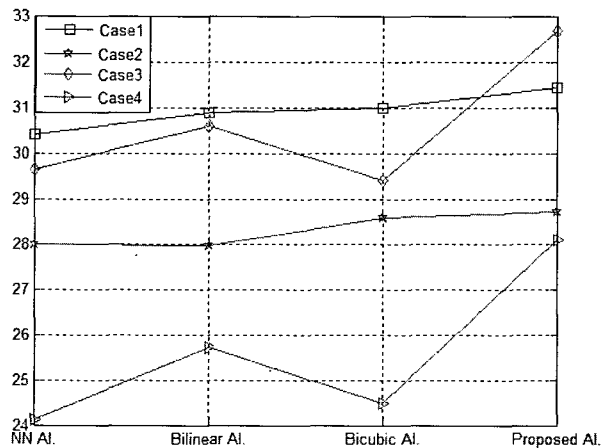


그림 11. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 PSNR 비교

Fig. 11. PSNR Comparison between the proposed reconstruction algorithm and the conventional algorithm.

여기서, X는 영상의 열의 수, Y는 행의 수이다. 255는 픽셀이 가지고 있는 최대값이며, $O(l,m)$ 는 원 영상, $I(l,m)$ 는 결과 영상이다.

그림 10은 각 알고리즘 보간 계수를 2로 하여 실험한 결과 영상을 목시적으로 비교한 것이다. 표 2는 PSNR 결과 값이고, 그림 11은 결과 비교 그래프이다.

case 1 : (a,b,c,d)뿔볼영상에 알고리즘을 적용한 경우,

case 2 : (e,f,g,h)코인영상에 알고리즘을 적용한 경우,

case 3 : (i,j,k,l)앵무새영상에 알고리즘을 적용한 경우

case 4 : (m,n,o,p)책 영상에 알고리즘을 적용한 경우

본 논문에서 제안된 웨이브렛 기저 계수 보간 알고리즘을 이용하여, 새롭게 구성된 초해상도 복원 시스템 최종 결과 영상은 기존의 보간 알고리즘을 적용하여 복원한 결과 영상보다 우수함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 연속되는 저해상도 영상을 초해상도 복원 시스템을 이용하여 고해상도 영상으로 복원 할 때, 효율적인 보간을 위한 알고리즘을 제안하였다. 기존 초해상도 복원 시스템에서의 사용하는 보간법(최소거리 이웃방법)에 의한 저해상도 영상에서 고해상도 영상으로 복원 시 smoothing 현상이나 블러링 현상이 나타나는 점을 개선하기 위하여, 기존 B-스플라인 함수에 웨이브렛 기저 계수를 이용한 개선된 보간법을 제안하였다. 그 결과 기존 보간법을 이용한 복원과 비교하여 평균 case1 : 0.654db, case2 : 0.535db, case3 : 2.778db, case4: 3.293 db 의 우수한 화질을 보였다. 또한 기존 초해상도 시스템 보간법의 픽셀간의 차가 너무 거칠게 나타나는 단점을 보완하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 거칠기 면에서 아주 부드러운 영상, 즉 자연스럽고 부드러운 영상 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Park, M. Park, and M. Kang, "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," IEEE Signal Processing Magazine 20, pp. 2136, May 2003.
- [2] M. Irani and S. Peleg, "Improving resolution by image registration," Computer Vision Graphical Image Processing: Graphical Models and Image Processing 53, pp. 231-239, 1991.
- [3] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences," IEEE Trans. Image Processing, vol. 5, pp. 9961011, June 1996.
- [4] A. Rosenfeld, ed., Multiresolution Image Processing and Analysis, Springer-Verlag, Berlin/New York, 1984.
- [5] D. Capel and A. Zisserman, "Super-resolution

from multiple views using learnt image models," in Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, Dec. 2001.

[6] K. Toraichi, S. Yang, M. Kamada, and R. Mori, "Two-dimensional spline interpolation for image reconstruction," Pattern Recog., Vol. 21, pp. 275-284, 1988.

[7] J. W. Go, K. H. Sohn, and C. H. Lee, "Interpolation using Neural Networks for Digital Still Cameras," IEEE Trans. Consumer Elec. Vol. 46, No. 3, pp. 610-616, Aug. 2000.

[8] Y. Y. Tang, L. H. Yang, and J. Liu, and H. Ma, Wavelet Theory and Its Application to Pattern Recognition, World Scientific, Vol. 36. 2000.

[9] T. E. Boulton, M.-C. Chiang, and R. J. Meehan, "Super-resolution via image warping," in Super-Resolution Imaging, E. S. Chaudhuri, Ed. Norwell, MA: Kluwer, 2001, pp. 131-169.

[10] M. Elad and A. Feuer, "Restoration of a single superresolution image from several blurred, noisy and undersampled measured images," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, pp. 1646-1658, Dec. 1997.

[11] B. C. Tom, A. K. Katsaggelos, and N. P. Galatsanos, "Reconstruction of a high resolution image from registration and restoration of low resolution images," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, Austin, TX, Nov. 1994, pp. 1316.

[12] D. Keren, S. Peleg, and R. Brada, "Image sequence enhancement using sub-pixel displacements," in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 742-746, (Ann Arbor, MI), Jun. 1988.

[13] A. Rosenfeld, ed., Multiresolution Image Processing and Analysis, Springer-Verlag, Berlin/New York, 1984.

[14] I. J. Schoenberg, Cardinal Spline Interpolation, Philadelphia, PA : SIAM, 1973.

[15] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, "Fast B-spline transforms for continuous image representation and interpolation," IEEE Trans.

저 자 소 개



백 영 현(학생회원)
 2002년 원광대학교 전자공학과
 학사.
 2004년 원광대학교 전자공학과
 석사.
 2006년 현재 원광대학교
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 패턴인식, 고해상도 복원, 퍼지시
 스템, 신경망 등 >



변 오 성(학생회원)
 1997년 원광대학교 전자공학과
 학사.
 2000년 원광대학교 전자공학과
 석사.
 2003년 원광대학교 전자공학과
 박사.

<주관심분야 : 신경망 시스템, 퍼지, 유전자 알고
 리즘, 지능시스템>



문 성 룡(정회원)
 1993년 전북대학교 전자공학과
 공학박사.
 1994년~현재 원광대학교
 전기전자 및 정보공학부
 교수.

<주관심분야: 신경망, 퍼지, 영상
 처리 및 패턴인식>