

해상도 향상을 위한 고해상도 복원 알고리즘 연구

A Study on High Resolution Reconstruction Algorithms for improving Resolution

백영현 · 문성룡

Young-Hyun Baek and Sung-Ryong Moon

원광대학교 전자공학과

요 약

저해상도 영상 정보를 이용하여 고해상도 영상으로 재구성하는 새로운 고해상도 복원 알고리즘을 제안한다. 제안된 고해상도 복원 알고리즘은 super 해상도 이론을 바탕으로 구성되며, super 해상도는 정합과 복원의 순차적인 단계로 구성되어있다. 본 논문에서는 다해상도 분해를 통한 웨이브렛 기저와 하위픽셀이동을 통한 정합으로 많은 데이터 처리량과 잡음을 줄여 주요정보 유지와 에러를 개선하였다. 또한 복원단계에서는 퍼지 웨이브렛 B-스플라인 보간법을 이용하여 블러링과 블록화 현상이 없는 부드러운 영상과 해상도를 얻음을 확인하였다.

키워드 : super 해상도, 영상 복원, 정합, 웨이브렛, B-스플라인

Abstract

In this paper, It propose a new restoration algorithm of high resolution, which is reconstructed to high resolution image using low resolution image informations. The proposed algorithm is constructed based on super resolution theory, it is consisted of progressive steps of the integration and construction. It reduced a lot of data-processing capacity and noise with integration through sub-pixel movement and wavelet basis through a higher resolution. As a result, it is shown that the main information is maintained and the error rate is improved. Using expansion fuzzy wavelet B-spline interpolation in stage of construction, it is confirmed that we can achieve smoothing image and good resolution without blur and block.

Key Words : super resolution, image reconstruction, registration, wavelet basis, B-spline

1. 서 론

영상 처리 기술의 발달은 1970년대 이후, CCD와 CMOS 이미지 센서의 등장과 함께 디지털 영상과 동영상들의 영상 데이터 획득이 쉬워지면서 통신 및 여러 분야에서 발전하였다. 다양한 압축·전송 방식, 특정분야 응용 분야 영상처리들의 연구가 발전함에 따라 높은 해상도를 갖는 영상 데이터를 얻고자 하는 기술이 필요 하게 되었다. 하지만 하드웨어적으로 고화질 영상을 획득하기 위해서는 높은 비용과 정밀 광학기술이 요구되어, 이 한계를 극복하기 위한 기술의 필요성이 대두 되었다[1,2]. Super해상도 기술은 관찰되었던 다수의 저해상도의 영상으로부터 고해상도 이미지나 일련의 이미지들을 얻기 위한 신호처리 기술이다[1]. 해상도 향상을 위해 다수의 저해상도 영상 데이터를 움직임 추정이나 정합 알고리즘을 통하여 데이터를 일치시키고, 보간법을 이용하여 보다 정확한 위치의 화소 값을 얻어 해상도를 증가시키는 것이다[1-4]. 이 기술은 정합(Registration)알고리즘과 정합된 영상 확대 시 현재 가중치 이용한 영상 보간 으로 구성 되어 있다.

본 논문에서는 super해상도 구조를 기반으로 다차원 해석,

시간-주파수 신호 해석, 함수 근사화에 적용되는 신호 처리의 한 기술인 웨이브렛 변환의 장점인 신호를 시간과 주파수 영역에서 지역화 하는 특징을 이용한 웨이브렛 기저함수를 추출하여 정합 기준점으로 구하고 경계선 검출을 통한 하위-화소 이동을 실수 단위 이동과 회전을 통한 정합법을 제안하고 영상 확대시 생기는 블러링현상과 블록화현상을 최소화하여 부드럽고 자연스러운 영상을 얻기 위해서 퍼지웨이브렛 B-스플라인 보간법을 이용하는 구조를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 super 해상도의 기본 개념과 정합과 보간법들에 대하여 기술하고, 3장에서는 제안된 고해상도 복원 알고리즘과 4장에서 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 실험 결과를 비교 분석하여 제안된 알고리즘의 타당성을 확인한다. 그리고 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. Super 해상도

2.1 Super 해상도 정의

Super해상도는 저해상도 화상 처리 시스템들의 물리적인 한계를 극복하고, 하드웨어 적용에 용이한 고해상도 영상으로 복원하기 위한 기술로써, 동일한 화면에 대하여 다른 정보를 가지고 있는 저해상도 영상 여러 장을 이용하여 한 장

접수일자 : 2006년 11월 3일

완료일자 : 2007년 2월 12일

의 고해상도 영상을 만드는 기법이다[1-4]. 프레임과 프레임 사이의 저해상도 영상이 정수 단위로 이동되면, 각각 영상들은 서로 같은 정보를 포함하게 되고, 고해상도 영상으로 복원하기 위해 사용될 수 있는 변화된 새로운 정보가 존재하지 않는다.

만일 저해상도 영상의 픽셀이 상호 이동하거나 위 신호(aliasing)가 발생되면, 각 저해상도 영상에 포함되는 새로운 정보로부터 고해상도 영상을 복원할 수 있는 정보를 얻을 수 있게 된다[5-8]. 초해상도 연구 분야는 크게 두 가지로 정합(registration)과 복원(restoration)으로 구성된다. 정합은 여러 저해상도 영상들의 기하학적인 정렬관계를 구하기 위한 과정이고, 복원은 저해상도 영상의 왜곡이나 잡음, blur 등의 현상을 보완하기 위해 필요한 과정이다[7,8].

같은 장면에 관한 다른 정보를 얻는 방법은 그림 1과 같이 다수의 장면을 한 개의 사진기로, 또는 다수의 사진기들로부터 얻게 될 수 있다. 획득된 정보로부터 초해상도를 이용하여 고해상도 복원을 구현하기 위해 관측 열화 모델을 이용하여 모델링 하였다.

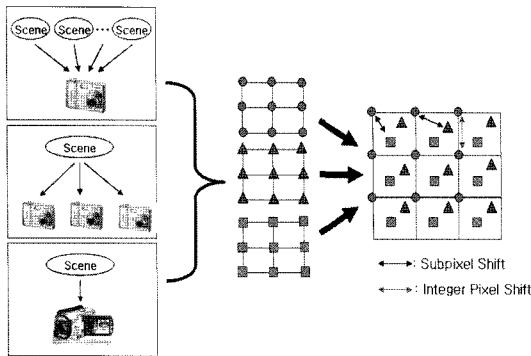


그림 1. 초해상도 기초 이론
Fig. 1. Basic premise for super resolution

그림 1에서 (●)는 기준 영상이고, (■)와 (▲)는 다른 두 영상으로부터 얻은 픽셀의 이동이다.

일반적인 초해상도의 정합 방법은 원본 영상과 처리된 영상이 존재한다고 가정할 때, 각각에 대해 같은 위치에 존재하는 템플릿을 설정하여 이를 바탕으로 이루어진다. 즉, 한 영상을 기준으로 다른 영상의 템플릿을 시공간 축을 따라서 화소단위로 움직여가며 에러를 찾고, 그 중 가장 작은 에러를 나타내는 좌표로 영상이 천이 되었다고 판단하는 것이다.

복원 방법은 영상의 회전, 신축 등 영상의 변환 과정에서 손실되는 정보를 복원시키는 기본적인 영상기법 중 하나인 보간법을 사용한다. 다시 말해서 변환된 좌표가 정수 좌표에 직접 대응되지 못하는 경우에 보간법을 적용하여 연속 함수로 만들고 해당 소수 화소의 값을 생성하는 것이다.

따라서 보간 기법은 정수 좌표 사이의 연속함수로부터 실수 좌표의 화소 값을 결정하기 위한 일종의 추정법이라고 할 수 있다[3,4]. 정합과 복원 방법 중 사용한 보간법은 그림 2와 같다.

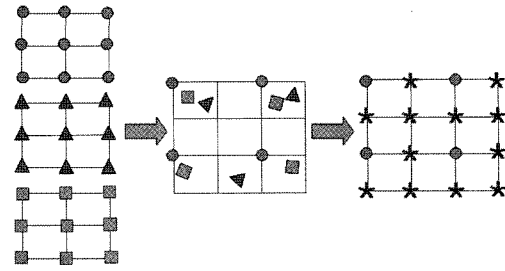


그림 2. 정합과 보간 처리의 표현
Fig. 2. Illustration of registration and interpolation processes.

(*)는 할당 되지 않은 고해상도 픽셀을 정합과 보간법에 의해서 복원된 값이다.

2.2 관측 열화 모델

관측 열화 모델은 저해상도 영상들이 고해상도 영상으로 복원 되는 것을 확인하기 위한 모델이며, 각 저해상도 영상은 왜곡되고 blur 된 고해상도 영상이 균일하게 다운 샘플링된 수 잡음이 추가되어 얻어졌다고 가정하고 모델링 하였다 [3,4].

고해상도 영상을 x 라 가정하면, k 번째의 저해상도 영상은 g_k 라 한다. 이때 복원된 영상의 픽셀 벡터 값은 x 와 y_k 이고, 식 (2-1)과 같다.

$$g_k = U_k x + n_k \quad 1 \leq k \leq p \quad (2-1)$$

여기서, U_k 는 카메라의 위치이동, 회전 등에 의한 왜곡 현상과 카메라의 움직임, 혹은 카메라 센서의 PSF (point spread function)에 의한 blur 현상과 다운 샘플링 현상 등 영상 열화 행렬이고, n_k 잡음 행렬, p 는 사용 가능한 저해상도 영상의 개수를 의미한다. $1 \leq k \leq p$ 에 대한 k 번째 저해상도 영상의 크기 $N_1 \times N_2$ 이면, 그 영상을 1 차원 열벡터 $g_k = [g_{k,1}, g_{k,2}, \dots, g_{k,M}]^T$ 라고 할 때 그 크기는 $M = N_1 N_2$ 가 된다. 복원하고자 하는 고해상도 영상 $x = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ 의 크기는 $N = m_1 N_1 m_2 N_2$ 이며 변수 m_1, m_2 는 저해상도 영상의 수직·수평 방향의 다운 샘플의 비율을 의미한다. 저해상도 영상과 고해상도 화소 간의 관계는 식 (2-2)와 같다.

$$g_{k,m} = \sum_{r=1}^N U_{k,m,r} x_r + n_{k,m} \quad (2-2)$$

$k=1, 2, \dots, p$ 와 $m=1, 2, \dots, M$ 에 대하여 $g_{k,m}$ 은 k 번째 저해상도 영상의 m 번째 화소이며 $r=1, 2, \dots, N$ 에 대하여 $U_{k,m,r}, Z_r$ 은 고해상도 영상의 r 번째 화소가 k 번째 저해상도 영상의 m 번째 화소에 더해진 잡음을 뜻한다. 모든 저해상도 영상과 왜곡 함수, 잡음 등을 하나의 벡터로 묶어 식 (2-3)과 같이 정리한다.

$$g = Ux + n \quad (2-3)$$

여기서 관측 모델은 그림 3과 같다.

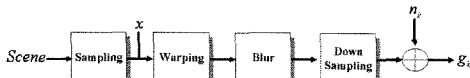


그림 3. 고해상도영상에서 저해상도로 연결 관측 모델
Fig. 3. Observation model relating LR images to HR images

관측 모델은 식 (2-3)을 이용하여 그림 4와 같이 원 영상에 각 이동, blur, 잡음, 움직임 등의 열화 요소를 적용하여 모델링한다.

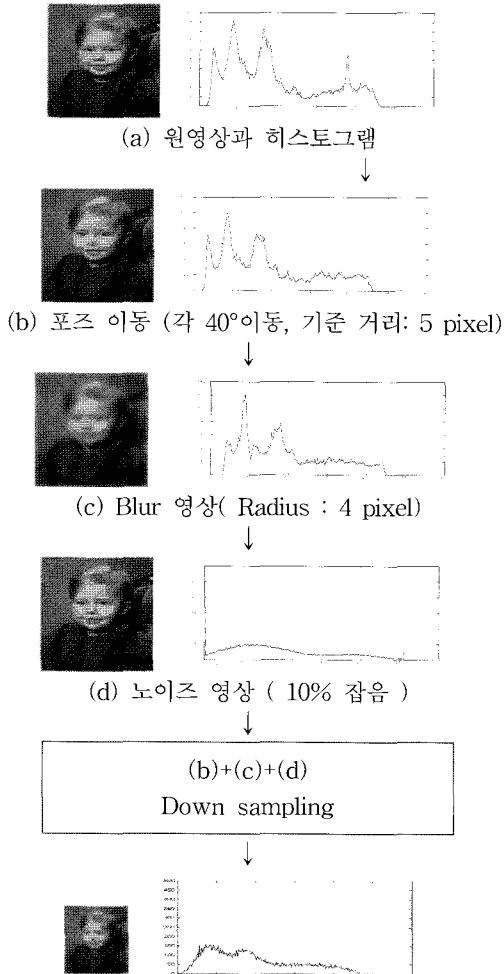


그림 4. 관측 모델
Fig. 4. Observation model

그림 5는 원영상과 각 관측 모델의 히스토그램 특성을 나타낸다.

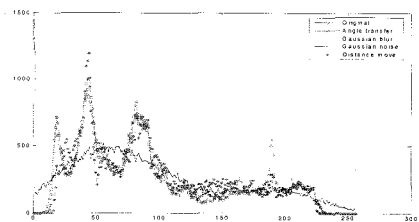


그림 5. 관측 모델 히스토그램
Fig. 5. Observation model histogram

3. 제안된 고해상도 영상 복원 알고리즘

Super해상도 기반의 해상도 향상을 위한 주 처리 과정은 정확한 정합 알고리즘의 구현이다. 기존의 템플릿 매칭 방법들은 템플릿의 크기에 따라 정확도를 높이는 장점이 있지만 템플릿을 구성하고 있는 모든 화소에 대하여 매번 계산을 해야 하기 때문에 정합을 수행할 범위가 넓어지면 연산량 역시 기하급수적으로 증가하는 단점[9-11]과 factor 확장 시에도 블러링이 나타는 단점을 가지고 있다[11,12].

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 웨이브렛의 저주파 기저를 이용하여 상대적으로 화소들간의 차이가 명확히 드러나는 고주파 영역의 계수를 제거하고, 경계선 검출을 하여 각 하위 화소들의 회전과 이동을 통해 영상을 정합함으로써 보다 정확한 화소의 위치값을 얻고하였다. 또한, 제안된 정합 과정에서 부정확한 위치와 고해상도를 위해 factor 확장 시 해상도 향상을 위해 퍼지 웨이브렛 B-스플라인 보간법을 적용하고자 한다. 제안된 정합 과정은 그림 6과 같다.

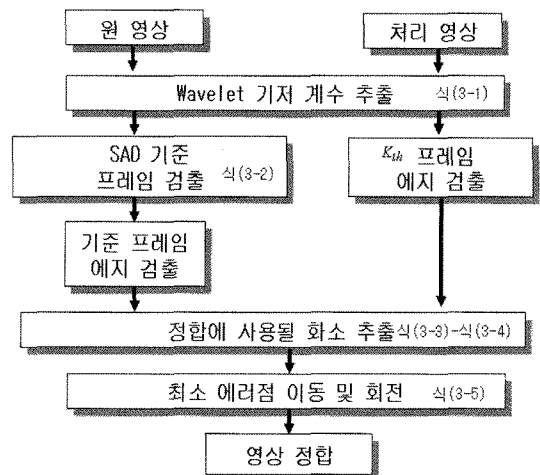


그림 6. 제안된 정합 과정
Fig. 6. Process of proposal registration

다양한 열화로 인한 저해상도 영상을 고해상도 영상으로 복원하기 위해 영상의 경계선과 웨이브렛 기저의 하위 픽셀 이동에 따른 최소 에러점을 찾아 공간 정합을 수행한다. 식 (3-1)과 같이 이산 웨이브렛 변환을 통하여 기저 함수를 구한다[14-18].

$$W\{f_{j,k}(x)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{j,k}(x)f(x)dx \quad (3-1)$$

식 (3-1)에서 저주파영역의 웨이브렛 기저 계수를 이용하여 인접 프레임간의 차 영상을 획득하고 이 차영상에서 시간 축 상으로 변화량이 가장 큰 지점을 이후에 실시한 공간 정합의 기준점으로 삼는다. 변화량의 크기를 판단하는 기준은 일반적으로 SAD(Sum of Absolute Difference)가 쓰이며, 식 (3-2)와 같다.

$$SAD(l) = \frac{1}{MN} \sum_m \sum_n^N |U(m,n,l) - U(m,n,l-1)| \quad (3-2)$$

$$+ \frac{1}{MN} \sum_m \sum_n^N |U(m,n,l) - U(m,n,l+1)|$$

l은 SAD 계산의 기준이 되는 현재 프레임을 나타내고 M

과 N 은 각 프레임 영상의 수평, 수직 좌표상의 유효 화소 개수를 나타낸다.

해당 프레임의 모든 유효화소에 대하여 바로 전 프레임과 바로 다음 프레임에서 같은 위치에 있는 화소들 간의 절대값을 정규화시켜 기준 프레임을 얻고, 기준 영상과 비교하여 높은 값을 갖는 화소를 검출하고 저해상도 영상간의 하위 화소 이동을 통해 에러 값이 제일 작은 위치를 추정하여 정합시키는 과정은 다음과 같다.

시간에 따른 수평 이동 : tx_k ,

시간에 따른 수직 이동 : ty_k ,

회전각 : θ_k

저해상도 참조 영상 g_1 에서 $k-1$ 일 때, 참조 영상 g_k 의 화소 위치는 식 (3-3)과 같다.

$$g_k(x,y) = g_1(x\cos\theta_k - y\sin\theta_k + tx_k, y\cos\theta_k + x\sin\theta_k + ty_k) \quad (3-3)$$

식 (3-3)을 테일러정리에 의해 다시 정리하면, 식 (3-4)와 같다.

$$g_k(x,y) \approx g_1(x+tx_k - y\theta_k - x\theta_k^2/2, y+ty_k - x\theta_k - y\theta_k^2/2) \quad (3-4)$$

식 (3-4)에서 1차 테일러정리를 이용하여, 근사치를 구하면, 식 (3-5)와 같다.

$$g_k(x,y) \approx g_1(x,y) + (tx_k - y\theta_k - x\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial x} + (ty_k + x\theta_k - y\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial y} \quad (3-5)$$

식 (3-5)에서 g_k 와 변환된 g_1 사이의 에러를 참조하여 정합시키면 식 (3-6)와 같다.

$$E(tx_k, ty_k, \theta_k) = \sum [g_1(m,n) + (tx_k - n\theta_k - m\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial m} + (ty_k - m\theta_k - n\theta_k^2/2) \frac{\partial g_1}{\partial n} - g_k(m,n)]^2 \quad (3-6)$$

해상도 향상을 하기 위한 퍼지 웨이브렛 B-스플라인 보간법의 L-R 함수의 소속 함수는 식 (3-7)과 같다.

$$\nu_{LR_I}(x) = \begin{cases} L(\frac{m_l - x}{\alpha}) & \text{for } x \leq m_l \\ 1 & \text{for } m_l \leq x \leq m_r \\ R(\frac{x - m_r}{\beta}) & \text{for } x \geq m_r \end{cases} \quad (3-7)$$

여기에서 L과 R은 가파른 모양의 함수이고, 그리고 α, β, ν 는 퍼지 구간에 대한 파라미터이다. L과 R이 가우시안 모양을 갖는다고 가정한다면 식 (3-8)에 적용된다.

$$\nu_{LR_I}(x) = LR \left[\frac{m_l \nabla x}{\alpha} + \frac{x \nabla m_r}{\beta} \right] \quad (3-8)$$

여기에서 경계가 다른 연산은 $a \nabla b = \max(a-b, 0)$ 이고, 퍼지 구간은 $I = [m_l, m_r, \alpha, \beta]_{LR}$ 로 나타낸다. 일반적인 L-R

삼각형 모양의 함수를 퍼지화하기 위하여 그림 7과 같이 퍼지 집합의 수를 사용하였다. 그림 7은 3개의 퍼지 소속 함수로 구성되었으며, 퍼지 레벨은 0~255사이의 임의의 픽셀 값을 [0, 1]로 퍼지화 하는데 DARK, MIDDLE, BRIGHT인 퍼지 소속 함수를 주로 사용한다.

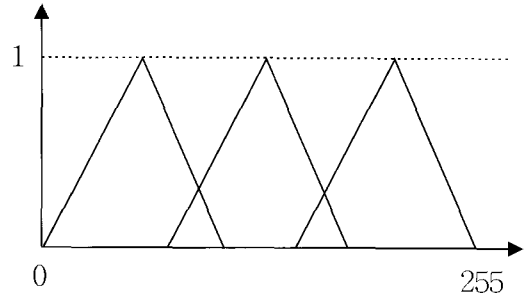


그림 7. 삼각형 퍼지 소속함수

Fig. 7. Triangularity fuzzy membership function.

또한 한 개의 퍼지 소속 함수의 영역을 디지털하기 위하여 1~89까지 5단위씩 세분화한다. 그리고 그레이 스케일의 픽셀 값이 0~8사이 존재하도록 퍼지함수를 양자화하여 퍼지화 부분이 병렬 연산처리가 가능하도록 디지털화 한다.

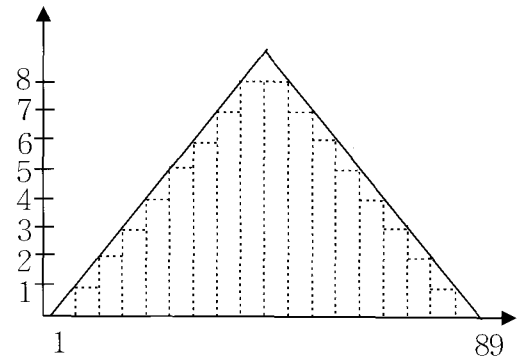


그림 8. 삼각형 퍼지 함수 양자화

Fig. 8. Quantization of triangularity fuzzy function.

1차원 신호 퍼지 함수 $f(t)$ 의 웨이브렛은 식 (3-9)에 의해서 계산된다.

$$\begin{aligned} W_s f(k) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi_s(k-t) f(t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} \int_{l-1}^l f(l) \psi_s(k-t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \left[\int_{-\infty}^l \psi_s(k-t) dt - \int_{-\infty}^{l-1} \psi_s(k-t) dt \right] \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \left[\int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt - \int_{(k-l+1)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt \right] \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l) \int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt - \sum_{l \in \mathbb{Z}} f(l+1) \int_{(k-l)s^{-1}}^{\infty} \psi(t) dt \\ &= \sum_{l \in \mathbb{Z}} [f(l) - f(l+1)] \psi_{k-l}^* \end{aligned} \quad (3-9)$$

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

$$\psi_{-k}^s = \int_{-k/s}^{k/s} \psi(t)dt + \int_{k/s}^{\infty} \psi(t)dt = \psi_k^s \quad (3-10)$$

2차원 신호에서, $W_s^i f(x,y)$ 의 계산은 1차원 신호를 계산하는 것 보다 더욱 복잡하게 된다. 그래서 2차원 신호 $f(x, y)$ 는 다음 식 (3-11)로 계산되어진다.

$$\begin{aligned} W_s^i f(n, m) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(u, v) \psi_s^i(n-u, m-v) dudv \\ &= \sum_{k,l} f(k, l) \int \int_{[k, k+1] \times [l, l+1]} \psi_s^i(n-u, m-v) dudv \\ &= \sum_{k,l} f(k, l) \int \int_{[n-k-1, n-k] \times [m-l-1, m-l]} \psi_s^i(u, v) dudv \\ &= \sum_{k,l} f(n-1-k, m-1-l) \psi_{k,l}^{s,i} \end{aligned} \quad (3-11)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } \psi_{k,l}^{s,1} &= \int \int_{[k, k+1] \times [l, l+1]} \psi_s^1(u, v) dudv \\ &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \psi^1(u, v) dv \end{aligned}$$

이다. 식 (3-11)에서 $\{\psi_{k,l}^{s,1}\}$ 계산을 유도하는데 있어서, $\psi^1(u, v)$ 는 u 에서 odd이고, v 에서 even이다. 그래서 다음 식 (3-12)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \psi_{-k,l}^{s,1} &= \int \int_{[-k, -k+1] \times [l, l+1]} \psi_s^1(u, v) dudv \quad (3-12) \\ &= \int_{k-1}^k du \int_l^{l+1} \psi_s^1(u, v) dudv \\ &= -\psi_{k-1,l}^{s,1} \end{aligned}$$

유사하게 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\psi_{k,-l}^{s,1} = \psi_{k,l-1}^{s,1} \psi_{-k,-l}^{s,1} = -\psi_{k-1,l-1}^{s,1} \quad (3-13)$$

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

$$\psi^1(u, v) = \psi(r) \cos \theta \quad (3-14)$$

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

$$\phi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(r) dr \quad (3-15)$$

이때, $\phi(x)$ 는 even 함수이고, $\psi(x)$ 는 odd 함수가 된다. 위의 수식을 정리하여 나열하면 아래 식과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial v} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) = \phi'(r) \frac{v}{r} = \psi^1(u, v) \quad (3-16)$$

$$\frac{\partial}{\partial u} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) = \phi'(r) \frac{u}{r} = \psi^2(u, v)$$

또한 식 (3-16)을 식 (3-11)의 $\psi_{k,l}^{s,1}$ 에 적용하면 새로운 식을 얻는데 식 (3-17)과 같다.

$$\begin{aligned} \psi_{k,l}^{s,1} &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \frac{\partial}{\partial u} \phi(\sqrt{u^2 + v^2}) dv \\ &= \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \left[\phi\left(\sqrt{v^2 + \left(\frac{k+1}{s}\right)^2}\right) - \phi\left(\sqrt{v^2 + \left(\frac{k}{s}\right)^2}\right) \right] dv \\ &= \phi_{l,k+1}^s - \phi_{l+1,k+1}^s - \phi_{l,k}^s + \phi_{l+1,k}^s \end{aligned} \quad (3-17)$$

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

$W_s^2 f(n, m)$ 의 계산은 다음 식과 같다.

$$W_s^2 f(n, m) = \sum_{k,l} f(n-1-k, m-1-l) \psi_{k,l}^{s,2} \quad (3-18)$$

여기서 $\psi_{k,l}^{s,2}$ 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \psi_{k,l}^{s,2} &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} du \int_{\frac{l}{s}}^{\frac{l+1}{s}} \psi^2(u, v) dv \\ &= \int_{\frac{k}{s}}^{\frac{k+1}{s}} \left[\phi\left(\sqrt{\left(\frac{l+1}{s}\right)^2 + u^2}\right) - \phi\left(\sqrt{\left(\frac{l}{s}\right)^2 + u^2}\right) \right] du \\ &= \phi_{k,l+1}^s - \phi_{k+1,l+1}^s - \phi_{k,l}^s + \phi_{k+1,l}^s \\ &= \psi_{l,k}^{s,1} \end{aligned} \quad (3-19)$$

위의 모든 조건은 $k, l \geq 0$ 에 대해서 필터링 계수 $\{\phi_{k,l}^s\}$ 을 계산하게 된다.

그리고 본 논문에서는 $f_c^n(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) \beta^n(t-k)$, $\forall t \in R$ 에서 스프라인 계수인 $c(k)$ 를 퍼지 웨이블릿 기저 함수의 계수로 대신한 B-스플라인 구조는 그림 9와 같다.

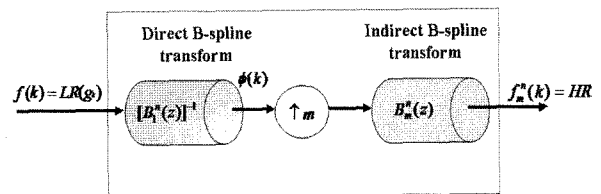


그림 9. B-스플라인 함수를 이용한 퍼지 웨이블릿 보간 블록 다이어그램

Fig. 9. Block diagram of fuzzy wavelet interpolation using B-spline function

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

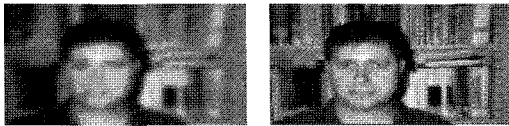
제안된 고해상도 복원 시스템의 성능 평가를 위해 Caltech face database와 다양한 MPEG 비디오와 일반 증명 사진, 인터넷 사진 등을 테스트 영상으로 사용하였다.

그리고 모의실험은 Matlab 7.0을 이용하였다. 여기서 테스트 영상은 관측 모델화하여 저해상도 영상으로 모델링하여 사용하였다. 또한 복원 화질의 객관적 측정을 위해 식 (4-1)과 같은 PSNR과 정합의 정확도를 판단하기 위해 원영상과 정합을 통해 얻어진 영상 전체에 대한 MSE를 식 (4-2)와 같이 평가하였다.

$$PSNR = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2}{MSE}\right) \quad (4-1)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i,j \in Z} (S(i,j) - H(i,j))^2 \quad (4-2)$$

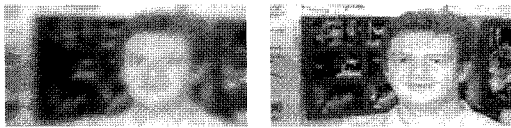
여기서, $S(i,j)$ 는 원 영상, $H(i,j)$ 는 처리된 영상, Z 는 유효화소 영역, p 는 최대 화소 값을 의미한다. 그림 10은 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘을 목시적(目的的)으로 비교하기 위한 결과 영상이다.



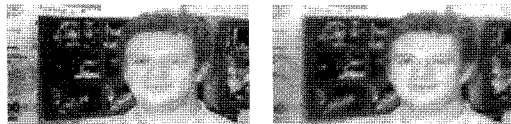
(1-a) Observation model (1-b) Three step search algorithm[19]



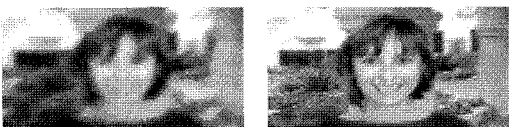
(1-c) Full search matching (1-d) Proposal algorithm algorithm[20-22]



(2-a) Observation model (2-b) Three step search algorithm[19]

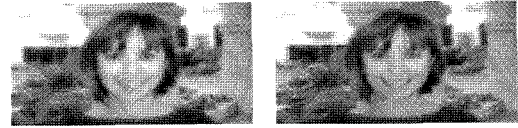


(2-c) Full search matching (2-d) Proposal algorithm algorithm[20-22]

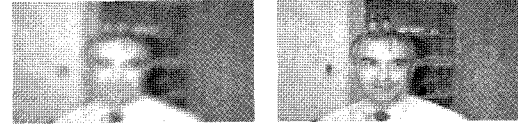


(3-a) Observation model (3-b) Three step search

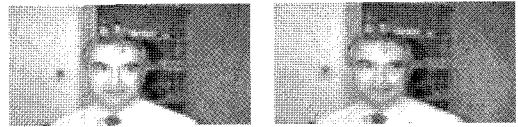
algorithm[19]



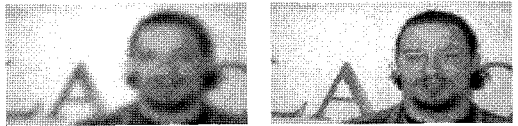
(3-c) Full search matching (3-d) Proposal algorithm algorithm[20-22]



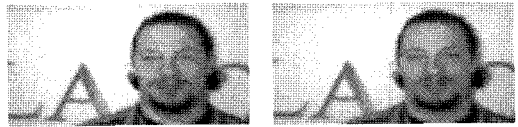
(4-a) Observation model (4-b) Three step search algorithm[19]



(4-c) Full search matching (4-d) Proposal algorithm algorithm[20-22]



(5-a) Observation model (5-b) Three step search algorithm[19]



(5-c) Full search matching (5-d) Proposal algorithm algorithm[20-22]

그림 10. 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘을 적용한 결과 영상 비교

Fig. 10. Compared result images by applying conventional algorithm and proposal algorithm

그림 10은 목시적인 방법으로 비교하여 관측모델로부터 Three step search algorithm 알고리즘을 적용한 영상은 잡음에 민감함을 보여 노이즈를 제거하지 못하였고, Full search matching 방법은 정교함을 보이나 연산 처리가 길다는 단점을 보였다. 제안한 알고리즘은 처리속도 부분에서 Three step search algorithm 알고리즘과 유사한 속도를 보이며,

잡음제거 및 부드러운 영상을 보임을 확인할 수 있었다. 표 4-1은 제안된 고해상도 복원과 기존 복원 알고리즘의 결과 데이터를 비교하였다.

표 4-1. 테스트 영상의 화질 비교
Table 4-1 Compared resolution of test images

	PSNR			MSE			RMSE		
	TSS	FS	PM	TSS	FS	PM	TSS	FS	PM
image 1	100.909	98.5743	102.480	0.0023	0.0030	0.0019	0.0479	0.0548	0.0438
image 2	93.8750	97.3713	98.1792	0.0052	0.0035	0.0031	0.0718	0.0587	0.0561
image 3	92.0364	92.5581	93.1573	0.0064	0.0060	0.0056	0.0799	0.0775	0.0749
image 4	92.0379	92.0428	92.5925	0.0064	0.0064	0.0060	0.0799	0.0798	0.0773
image 5	67.4932	68.5438	68.2775	0.0116	0.0091	0.0097	0.0116	0.0091	0.0097
image 6	82.3135	82.4679	82.4575	0.0195	0.0192	0.0192	0.1398	0.1385	0.1386
image 7	92.7648	92.6724	92.9296	0.0059	0.0059	0.0058	0.0766	0.0770	0.0759
image 8	91.0439	91.1726	93.9794	0.0072	0.0070	0.0051	0.0846	0.0839	0.0714
image 9	92.2871	92.7198	93.1983	0.0062	0.0059	0.0056	0.0787	0.0768	0.0747
image 10	90.7273	90.8122	92.2148	0.0074	0.0073	0.0062	0.0861	0.0857	0.0790

여기서, TSS: Three Step search, FS: Full search method, PM: Proposal method를 나타내는 약어로 사용하였다. 표 5-1에서와 같이 기존 알고리즘과 비교하여 각 영상마다 평균 0.5~2.5 db 이상의 화질이 우수함을 보였고, MSE는 평균 $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ 우수함을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안한 고해상도 복원 알고리즘은 기존 방법들의 단점인 원 영상 데이터를 전 영역처리 방법과 저차원 보간법등 많은 데이터 처리량에 의한 속도 문제와 낮은 해상도 문제를 해결하기 위해 웨이브렛 기저와 하위픽셀 이동을 통한 정합으로 많은 데이터 처리량과 잡음을 줄여 주요정보 유지와 에러율 개선하였고, 복원단계에서는 퍼지 웨이브렛 B-스플라인 보간법을 이용하여 객관적 평가는 정합 에러율을 $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-3}$ 감소 시켰고, PSNR은 0.5~2.5db 이상을 향상시켰으며, 주관적인 복시적 평가를 통해 블러링현상과 블록화 현상이 없는 부드러운 영상과 해상도를 얻음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] T. Akgun and Y. Altunbasak, "Super-Resolution Reconstruction of Hyper spectral Images," IEEE Transactions on Image processing, Vol. 14 No. 11, Nov. pp.1860-1875, 2005.
 [2] S. Farsiu, M. Dirk, "Fast and Robust Multi-frame Super Resolution," IEEE Transactions on image processing, Vol. 13, No. 10, Oct. 2004.
 [3] S. Park, M. Park, and M. Kang, "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," IEEE Signal Processing Magazine 20, pp. 21-36, May 2003.
 [4] 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.
 [5] N. Nuyen, P. Milanfar, and G. Golub, "A ComputationallyEfficient Super-resolution Image Reconstruction Algorithm," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10, pp. 573-583, Apr. 2001.
 [6] R. C. Hardie, K. J. Barnard, and E. E. Armstrong, "Joint MAP Registration and High-Resolution Image Estimation Using a Sequence of Under sampled Images," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 6, pp. 1621-1633, Dec. 1997.
 [7] N. Nguyen, P. Milanfar, and G. Golub, "Efficient Generalized Cross-Validation with Applications to Parametric Image Restoration and Resolution Enhancement," IEEE Trans. Image Processing, Vol. 10, pp. 1299-1308, Sep. 2001.
 [8] H. He and L. p. kondi, "Choice of threshold of The Huber-Markov Prior in Map-Based Video Resolution Enhancement," CCECE2004-CCGEL, pp. 801-804, May. 2004.
 [9] Hui Cheng, "Temporal registration of video sequences," Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proc. Vol. 3, pp:III-489-92, Apr. 2003.
 [10] D. F. Rogers, "Procedural elements for computer graphics," McGraw-Hill, 1985.
 [11] R. Crane, "A simplified approach to Image Processing," Prentice-Hall, 1997.
 [12] P. Thevenaz, T. Blu, and M. Unser, "Image Interpolation and Resampling," Handbook of medical imaging, Processing and Analysis, I. N. Bankman, Ed., Academic Press, San Diego CA, U. S. A., pp. 393-420, 2000.
 [13] B. A. Barsky, T. D. DeRose, "Geometric continuity of parametric curves: constructions of geometrically continuous splines," IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 10, pp. 60-68, Jan. 1990.
 [14] Y. Y. Tang, L. H. Yang, and J. Liu, and H. Ma, Wavelet Theory and Its Application to pattern Recognition, Series in Machine Perception Artificial Intelligence. Vol 36, World Scientific Publishing Co, 2000
 [15] R. M. Rao and A. S. Bopardikar, Wavelet Transform : Introduction to Theory and Applications. Addison-Wesly, An Imprint of Addison Wesley Long-man, Inc., 1998.
 [16] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, and H. Guo, Introduction to wavelet and Wavelet Transforms : A Primer. Prentice-Hall International, Inc., 1998.
 [17] M. Vetterli and J. Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, Prentice Hall, 1995.
 [18] Gilbert Strang, Truong Nguyen, Wavelet and Filter Banks, Wellesley Cambridge Press, 1995.
 [19] T. Kong, K. Iinuma, A. Hirano, Y. Iijima and T. Ishiguro, "Motion-compensated interframe coding for video conferencing," in Proc. NTC81, pp.

C9.6.1-9.6.5, Dec. 1981.

- [20] J. Choe and C. Lee, "Fast Video Registration Method for Video Quality Assessment," LNCS(ICIAE), sep. 2004.
- [21] T. Jeong, "Deinterlacing with Selective Motion Compensation," MS thesis, Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ., 2003.
- [22] R. Srinivasan and K. Rao. "Predictive Coding Based on Efficient Motion Estimation," Communication, IEEE Trans. Vol. 33, pp. 888-896, Aug. 1985.



문성룡(Sung Ryong Moon)

1982년 : 원광대학교(공학사)

1986년 : 전북대학교(공학석사)

1993년 : 전북대학교(공학박사)

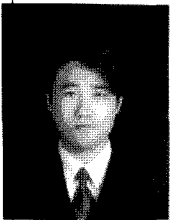
1994~현재 : 원광대학교 전기전자 및
정보공학부 교수

관심분야 : 신경망, 퍼지, 비선형, 얼굴인식 디지털 시스템
및 지능 시스템 등

Phone : 063-850-6883

E-mail : srmoon@wonkwang.ac.kr

저 자 소 개



백영현(Young Hyun Baek)

2002년 : 원광대학교(공학사)

2004년 : 원광대학교(공학석사)

2007년 현재 : 동 대학원 전자공학과
박사과정

관심분야 : 해상도 복원, 영상 처리, 패턴인식, 얼굴인식 등

Phone : 063-850-6883

E-mail : neural76@wonkwang.ac.kr