

6-Tap FIR 필터를 이용한 부화소 단위 움직임 추정을 통한 초해상도 기법

정회원 권 순 찬*, 종신회원 유 지 상*

Super-Resolution Algorithm by Motion Estimation with Sub-Pixel Accuracy using 6-Tap FIR Filter

Soon-chan Kwon* *Regular Member*, Jisang Yoo*^o *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 연속된 프레임을 갖는 영상의 프레임간 움직임 추정 기법을 응용하여 고해상도 영상을 생성하는 초해상도 기법을 제안한다. 단일 영상을 이용한 초해상도 기법의 경우 영상에서의 고주파 대역을 찾기 위해 확률 및 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT) 기반 등 다양한 방법이 제시되었으나, 연산에 사용할 수 있는 정보가 제한적이라는 문제가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연속된 프레임을 이용한 초해상도 기법이 다양하게 제안되었다. 연속 프레임 기반 초해상도 기법의 핵심인 입력 저해상도 영상 간 정합(registration)의 정확도는 초해상도 기법의 결과에 큰 영향을 갖는다. 본 논문에서는 영상 간 정합의 정확도를 높이기 위하여 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 부화소(sub-pixel) 단위의 정합에 사용한다. 실험을 통하여 제안하는 기법의 결과영상이 기존의 최단입점(nearest neighborhood), 이중선형(bi-linear), 고등차수(bi-cubic) 보간법 보다는 우수하고 DWT 기반의 초해상도 기법과는 비슷한 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : Super-Resolution, 6-Tap FIR Filter, Sub-pixel, 초해상도 기법, 6-탭 FIR필터, 부화소

ABSTRACT

In this paper, we propose a new super-resolution algorithm that uses successive frames by applying the block matching motion estimation algorithm. Usually, single frame super-resolution algorithms are based on probability or discrete wavelet transform (DWT) approach to extract high-frequency components of the input image, but only limited information is available for these algorithms. To solve this problem, various multiple-frame based super-resolution algorithms are proposed. The accuracy of registration between frames is a very important factor for the good performance of an algorithm. We therefore propose an algorithm using 6-Tap FIR filter to increase the accuracy of the image registration with sub-pixel unit. Proposed algorithm shows better performance than other conventional interpolation based algorithms such as nearest neighborhood, bi-linear and bi-cubic methods and results in about the same image quality as DWT based super-resolution algorithm.

I. 서 론

영상의 해상도를 확대하기 위해 기존 화소들 사

이에 적절한 값을 삽입하는 기술을 영상 보간법(interpolation)이라 한다. 근래, 디지털 카메라 같은 디지털 영상 획득 매체의 개발로 고해상도 영상 보

※ 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다.(2011-0027640)

* 광운대학교 전자공학과 디지털 미디어 연구실(honest_soonc@kw.ac.kr, jsyoo@kw.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-10-488, 접수일자 : 2012년 10월 20일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 3일

간의 중요성은 다양한 분야에서 점점 커지고 있다. 예를 들어 의료 분야에서 고해상도의 의료 영상은 의사들에게 있어 매우 중요하다. 이 분야에서 빈번히 사용되는 컴퓨터 패턴 인식의 수행 능력은 입력 영상의 해상도에 크게 좌우되기 때문이다.

영상 보간은 비월주사 방식의 영상을 순차주사 방식으로 전환하는 de-interlacing과 여러 장의 저해상도 영상들로부터 고해상도의 영상을 복원하는 초해상도(super-resolution) 기법과도 밀접한 관계가 있다^[12]. 디지털 영상 매체에 의해 획득된 영상은 고해상도 영상이 저주파 대역필터를 통과한 후, 다운 샘플링된 영상으로 모델링 될 수 있다. 이 과정을 거치면서 획득된 영상은 앨리어싱(aliasing) 현상에 의해 많은 고주파 성분의 정보가 손실된다. 따라서 이러한 고주파 성분을 효과적으로 복원하는 것이 영상 보간에서 가장 중요한 기술이다.

전통적인 영상 보간법은 저해상도 영상 화소의 가중치 합(weighted-sum)에 기반을 두고 있으며, 그

중 대표적인 방법으로 최단입점(nearest neighborhood) 보간법, 이중선형(bi-linear) 보간법, 고등차수(bi-cubic) 보간법 등이 있다^[3]. 이러한 방법들은 선형 필터의 개념으로 해석될 수 있다. 즉 저해상도 영상은 필터의 입력 신호가 되고 이 영상에 곱해지는 가중치들은 필터 계수가 되며, 전체적인 영상의 확대 과정은 저해상도의 입력 영상을 업 샘플링한 후 필터를 적용하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 필터 계수가 되는 가중치들의 주파수 특성을 확인함으로써 해당 보간법의 성능을 분석할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 가중치 기반 방법들은 대부분 저주파 통과 필터 특성을 가지고 있으므로 앨리어싱에 의해 손상된 고주파 성분을 효과적으로 복원할 수 없다. 이러한 한계점을 극복하기 위해, 확률 및 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT)기반의 단일 영상 초해상도 기법이 제안되었다. 단일 영상 기반의 초해상도 기법은 전통적인 보간법 보다는 좋은 결과를 보여주지만 한 장의 영상만을 사용한다는 점에서 한계가 존재한다^[4].

이러한 문제를 개선하기 위해, 본 논문에서는 6-Tap FIR(finite impulse response) 필터 및 연속된 다수의 프레임들을 이용하여 단일 영상을 사용한 경우보다 정확도가 높은 고주파 성분을 복원하고자 한다^[5]. 이 방법은 초해상도 기법을 적용하고자 하는 목표 영상의 앞, 뒤의 다수 프레임에서, 목표 영상 내 고주파 성분을 부화소(sub-pixel) 단위 움직임 추정을 통해 인접한 다른 영상들에서 찾아 고주파

성분 보간 시 이용하는 방법이다^[6,7]. 다수 프레임 기반 초해상도 기법은 움직임 추정의 정확도가 결과 영상의 화질을 결정하기 때문에, 보다 높은 정확도를 갖는 정수단위가 아닌 부화소 정밀도의 움직임 추정이 필요하다. 부화소 정밀도의 움직임 추정 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 영상 간 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform: DFT)을 통한 주파수 영역에서의 상호 상관스펙트럼을 구하는 방법과 원본 영상의 부화소를 탐색하여 부화소 단위의 움직임 정보를 추출해 내는 방법이다^[8]. DFT 기반의 움직임 정보 추출은 그 단위가 실수라는 점에서 정수단위의 움직임 추정보다 정밀하지만, 영상과 영상간의 병진이동(global translation)을 전체조건으로 하고 있기 때문에, 입력 영상들 간의 움직임이 복잡할 경우 적용이 제한적이다^[9].

본 논문에서는 원본 영상의 부화소 탐색기반의 움직임 추정을 선택한다. 부화소 단위의 움직임 추정을 하기 위해서 적용되는 부화소 보간에는 이중선형, 고등차수 보간법 등 다양한 방법이 적용된다. 이러한 방법들은 적용 시 많은 앨리어싱을 유발하므로 움직임 추정의 정확도를 높이기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 부화소를 구하기 위해 6-tap FIR 필터를 사용한다. 6-tap FIR 필터는 H.264/AVC 코덱 내부에서 움직임 보상(motion compensation)의 정확도를 높이기 위해 사용되며, 특히 이중선형, 고등차수 보간법 보다 영상 내 움직임의 표현성이 우수하다^[10]. 본 논문에서는 목표영상을 기준으로 다수의 저해상도 영상에 6-Tap FIR 필터를 적용하여 부화소를 찾고, 이 후 부화소 정밀도의 움직임 추정을 적용하여 목표영상에 정합시킨 후 D. Shepard에 의해 제안된 2차원 보간법^[11]을 이용해 목표영상의 빈공간을 보간하게 된다. 실험 후 결과영상이 기존의 최단입점 보간법, 이중선형 보간법, 고등차수 보간법 보다는 우수하고, 기존 DWT 기반의 초해상도 기법과는 비슷한 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다중 프레임을 사용한 새로이 제안하는 초해상도 기법의 소개와 알고리즘의 결과 품질을 높이기 위한 방법을 설명한다. 3장에서는 실험결과와 다른 기법과의 성능 비교를 보여주고, 4장에 결과에 따른 결론으로 본 논문을 마무리한다.

II. 제안하는 기법

그림 1은 본 논문에서 제안하는 초해상도(super-resolution) 기법의 흐름도이다. 제안하는 기법에서는 우선 초해상도 기법을 적용하고자 하는 영상을 기준으로 하여 전, 후 각 2장의 프레임을 포함하여 총 다섯 장의 저해상도 영상을 입력으로 한다. 이 다섯 장의 영상에 부화소(sub-pixel)를 구하기 위해 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 적용한다. 그 후 1/4 화소 단위에서의 움직임 추정으로 목표 영상의 고주파 부분에 해당하는 부분을 다른 저해상도 영상에서 찾아, 이 점들을 이용하여 목표영상의 해상도를 증가시키게 된다.

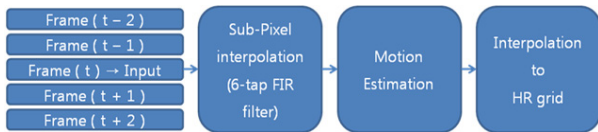


그림 1. 제안하는 기법의 흐름도
Fig. 1. Block diagram of the proposed algorithm

2.1. 수학적 관측 모델

본 논문에서 저해상도 영상은 식 (1)과 같은 관측모델을 갖는다고 가정한다^[12].

$$y_k = Dx_k + n_k \quad (1)$$

여기서 y_k 는 k번째의 저해상도 영상, D는 다운샘플링 행렬, x_k 와 n_k 는 각각 k번째 고해상도 영상과 해당 영상에 더해지는 잡음이다. 본 논문에서는 제안하는 기법을 통해 그림 2로 나타내어진 식 (1)의 관측모델을 역으로 하여 목표영상인 x_k 를 복원하는 과정과 그 결과를 보인다.

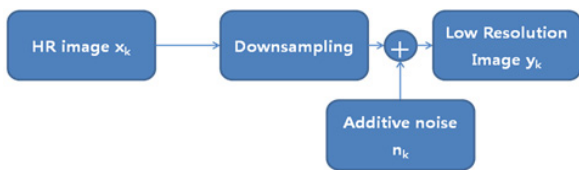


그림 2. 저해상도 영상이 만들어지는 과정
Fig. 2. Low resolution image making process

2.2. 부화소 단위의 화소 이동

사람이 육안으로 보는 영상은 연속적인 아날로그 신호이다. 영상신호를 컴퓨터 처리가 가능한 디지털 신호로 변환하기 위해서는 음성신호와 같이 신호를 디지털화 하는 과정이 필요하다. 이 과정에서 그림 3과 같이 이미지 센서 등과 같은 디지털 기기의 성능적 제한으로 저해상도 영상이 되는 과정에서 샘플링

간격으로 인한 필연적인 앨리어싱(aliasing)이 발생한다. 이로 인해 원 영상신호의 고주파 성분이 손실된다^[13].

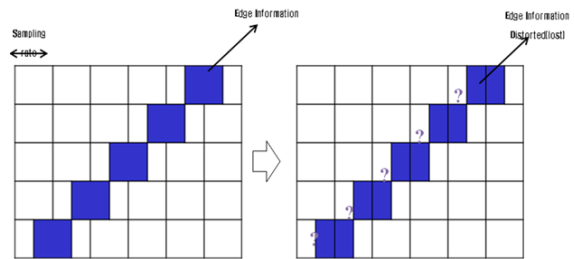


그림 3. ADC 과정에서 발생하는 앨리어싱
Fig. 3. Aliasing caused by analog to digital converting process

동영상에서 현재의 프레임을 f(t)라 하고, 바로 전의 프레임을 f(t-1)이라고 가정하면 장면의 전환 부분이 아닌 경우 두 영상은 서로 근소한 차이만을 가질 것이다. 그림 4는 프레임간 존재하는 객체의 움직임을 나타낸다. 그림 4에서 왼쪽 열은 f(t-1)프레임, 오른쪽 열은 f(t)프레임을 나타낸다.

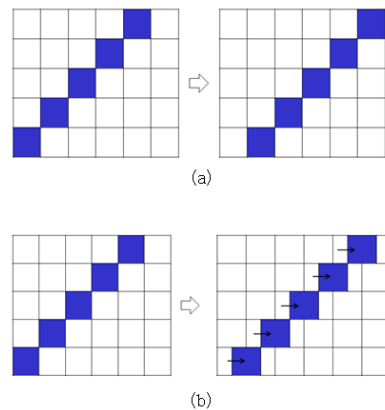


그림 4. 화소 이동 (a) 정수단위 (b) 부화소 단위, f(t-1) (첫 번째 열), f(t) (두 번째 열)
Fig. 4. Pixel movement (a) integer unit (b) sub-pixel unit, f(t-1) (1st column), f(t) (2nd column)

그림 4(a)의 경우는 프레임 간 객체의 이동이 샘플링 간격인 정수단위로 이동한 경우를 나타낸다. 이 경우 디지털화 된 영상은 f(t-1)과 f(t)의 해당 객체가 같은 윤곽선 정보를 가지게 된다. 그림 4(b)의 경우는 프레임 간 객체가 샘플링 간격보다 작은 부화소(sub-pixel) 단위로 이동한 경우이다. 이 경우 첫 번째 경우와 달리 두 영상은 같은 객체에 대하여 서로 다른 윤곽선 정보를 가지게 된다.

첫 번째 경우처럼 복수의 영상이 서로 같은 고주

파 성분을 가지고 있다면, 해당 영상들로는 초해상도(super-resolution) 기법 적용이 불가능하다. 그러나 두 번째 경우는 서로 다른 고주파 정보를 모아 서 초해상도 기법을 적용할 수 있다^[8]. 따라서 본 논문에서는 부화소 단위로 이동한 두 번째 경우를 이용하여 고주파 성분을 복원하게 된다.

2.3. 부화소 탐색을 위한 6-tap FIR 필터

2.2절에서 언급한 부화소(sub-pixel) 단위의 움직임 정보를 얻기 위해서는 우선 입력 영상들의 부화소를 찾아야 한다. 본 논문에서는 입력 영상들마다 식 (2)의 H.264/AVC 의 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 적용하여 부화소를 찾는다^[10].

$$\begin{aligned}
 b_1 &= (E - 5F + 20G + 20H - 5I + J) \\
 h_1 &= (A - 5C + 20G + 20M - 5R + T) \\
 b &= (b_1 + 16) \gg 5 \\
 h &= (h_1 + 16) \gg 5
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서 b 와 h 는 각각 1/2 화소 단위의 화소 값을 의미하고, A, C, G, M, R, T, E, F, H, I, J는 각각 정수단위의 원본 화소 값을 의미한다. 각 정수단위의 화소에 곱해지는 숫자는 가중치를 나타낸다.

식 (2)의 이해를 돕기 위해 그림 5을 가지고 설명한다. 먼저 가로 방향과 세로 방향의 원본 화소에 가중치를 주어 b 와 h 를 구하게 된다. 1/4 화소는 1/2 화소를 구한 다음 여기에 이중선형(bi-linear) 보간법을 적용하여 얻게 된다.

			A				
			C				
E	F	G	b	H	I	J	
			h				
			M				
			R				
			T				

그림 5. 1/2 화소 보간 시의 6-Tap FIR 필터 적용
Fig. 5. Applying 6-Tap FIR filter for interpolation with 1/2 pixel accuracy

2.4. 블록 정합 움직임 추정

1/2 와 1/4 화소를 모두 구한 후 2*2 블록 단위의 움직임 추정을 하게 된다. 우선 SAD(sum of absolute difference) 연산을 통해 최적 정합블록을

선택한다. 그림 6과 그림 7은 각각 다른 최적 블록의 탐색 방법을 나타낸다. 그림 6는 전역 탐색(full search) 방식을 나타내며 만약 64*64 크기의 탐색 블록(search block)을 사용한다고 하면, 64*64개의 SAD 값이 필요하다. 하나의 SAD 값을 산출하기 위해 식 (3)을 사용한다^[14].

$$SAD(i, j) = \sum_{y=0}^1 \sum_{x=0}^1 |B_t(x, y) - B_{t-1}(x, y)|
 \tag{3}$$

여기서 $SAD(i, j)$ 는 (i, j) 위치의 SAD 값이다. 본 논문에서는 64*64의 탐색 블록을 사용하므로 i, j 는 각각 0~63의 값을 가진다. B_t 와 B_{t-1} 은 각각 t 와 $t-1$ 시각에서의 프레임의 2*2 크기의 macro block을 나타낸다. 따라서 x, y 는 0~1의 값을 가진다.

본 논문에서는 이전 두 프레임과 이후 두 프레임을 사용하므로 $B_{t-2}, B_{t-1}, B_{t+1}, B_{t+2}$ 로 각각의 SAD 식을 갖는다. 즉 목표 영상의 B_t 의 위치를 고정된 상태에서 기타 저해상도 영상의 macro block을 탐색 블록 내에서 움직이며 SAD값을 채우는 것이다. 이렇게 64*64의 SAD 값을 모두 구한 뒤, 최소값을 찾아내 그 방향으로 영상이 천이되었다고 가정하여 움직임 벡터를 구하게 된다. 탐색 방식에는 크게 두 가지가 있는데, 대표적으로 그림 6에 나타난 전역 탐색은 시간을 많이 소모하므로, 본 논문에서는 그림 7과 같이 고정 블록을 중심으로 일정 범위의 가까운 곳을 탐색하는 나선형 탐색(spiral search)을 사용한다^[15].

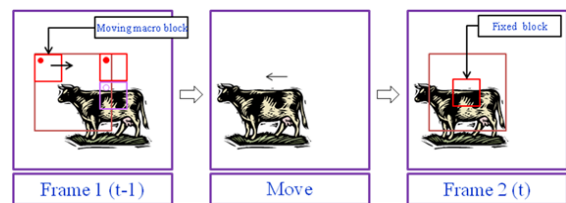


그림 6. 전역 탐색 방식
Fig. 6. Full search method

그림 7(a)는 나선형 탐색 방식을 택했을 경우 2*2 블록의 좌측 상단 점을 기준으로 하여 이동 시의 좌표 변화를 나타낸 것이다. 그림 7(b)는 나선형 탐색에서 탐색 범위의 단위를 나타낸 것으로 보통 가로 방향과 세로 방향으로 한 번씩 움직일 때 1킵(kick)을 탐색했다고 정한다.

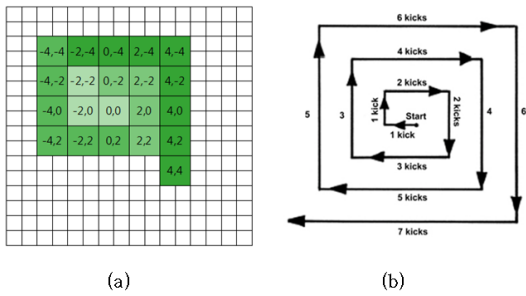


그림 7. 나선형 탐색 방식
Fig. 7. Spiral search method search method

2.5. 고해상도 화소 위치로의 보간

2.4 절의 내용을 적용하여 목표 영상을 기준으로 나머지 4개의 저해상도 입력 영상들에 대하여 1/4 화소 단위의 움직임 추정을 한다. 이 과정을 통하여 목표 저해상도 영상과 나머지 저해상도 영상들 간의 위치관계를 움직임 벡터를 통해 그림 8(a)와 같이 얻을 수 있다^[16].

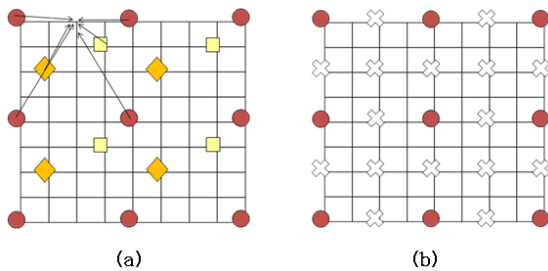


그림 8. (a) 움직임 추정에 따른 영상간 위치관계 (b) 보간 대상점의 위치
Fig. 8. (a) Positions of the same pixels among frames by motion estimation algorithm (b) Pixel positions for interpolation

그림 8(a)에서 원 모양의 화소는 목표 영상의 원본 화소를, 사각형과 다이아몬드 모양의 화소는 각각 나머지 저해상도 영상의 움직임 벡터를 바탕으로 한 상대 위치를 나타낸다. 그림 8(b)에서 표시된 부분은 보간해야 할 대상 점들을 나타낸다. 이후 2.2절에서 언급한 것처럼 목표 영상의 해상도를 보간하고자 할 때 부족한 고주파 성분을 인접한 다른 프레임에서 보충한다. 그러나 그림 8(a)처럼 단순히 다른 저해상도 영상들과 정합(registration)만 완료된 상태에서는 목표 보간점의 화소 값으로 사용할 수 없다^[8]. 정합된 화소 값을 참고로 하여 목표 보간점의 화소 값을 구하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 그림 9와 같이 목표 보간점을 기준으로 하여 일정 반경 내에 위치하는 정합점을 찾는다. 보

간점과 정합점의 거리를 구하는 기준은 식 (4)와 같이 유클리드 거리(Euclidean distance)를 사용한다.

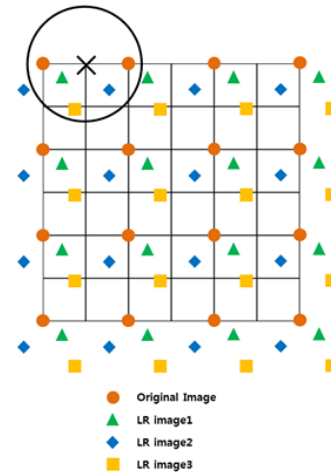


그림 9. 정합점의 사용 반경의 지정
Fig. 9. Set the radius of using the point of registration

$$d_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \tag{4}$$

여기서 $(x-x_i)$ 는 가로방향의 움직임을, $(y-y_i)$ 는 세로방향의 움직임을 나타낸다. 지정한 반경내에 위치한 정합점들을 목표점으로 보간하는 데에는 식 (5)와 같이 D. Shepard에 의해 제시된 2차원 보간법을 사용한다^[11]. 식 (5)는 2차원 공간에서 해당 위치를 기준으로 하여 불규칙적으로 퍼져있는 점들과의 거리에 의한 가중치를 이용한 보간법이다.

$$f_i(P) = \begin{cases} \frac{[\sum_{i=1}^N (d_i)^{-u} z_i] / [\sum_{i=1}^N (d_i)^{-u}]}{z_i} & \text{if } d_i \neq 0, \text{ for all } D_i \\ z_i & \text{if } d_i = 0, \text{ for some } D_i \end{cases} \tag{5}$$

여기서 $f_i(P)$ 는 목표 보간점의 값, d_i 는 각 목표 보간점과 정합점과의 거리, z_i 는 해당 정합점의 값을 나타낸다. 지수승을 나타내는 u 는 그 값이 2 일 때 가장 좋은 보간 결과를 갖는 것이 실험적으로 나타나 있다^[11]. 만약 수집된 정합점 중 목표 보간점과의 거리가 0인 정합점의 경우, 해당 화소 값을 그대로 목표 보간점에 대입한다. 또한 정수단위로 이동 된 정합점은 초해상도 기법에 사용될 수 없기 때문에, 정합점과의 거리를 구하는 과정에서 이를 고려하여야 한다.

III. 실험 조건 및 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 실험하기 위해 사용된 실험 영상은 352*288(CIF) 크기의 ‘Miss America’, ‘Mother and daughter’, ‘News’ 영상이다. 실험은 원본 영상을 176*144(QCIF) 크기의 영상으로 다운 샘플링 한 후 각 실험 영상에서 연속된 10장의 프레임을 최단입점(nearest neighbor-hood), 이중선형(bi-linear), 고등차수(bi-cubic), 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT) 기반의 초해상도 기법 및 제안하는 기법을 사용하여 다시 원래 해상도로 복원 후 주관적, 객관적 결과를 비교하는 것으로 진행한다.

객관적인 성능 비교를 위해 각 결과들을 원본영상과 비교하여 PSNR을 측정하여 표 1에 나타내고, 표 2에는 기존의 이중선형 및 고등차수 보간법을 사용하여 부화소(sub-pixel)를 보간하였을 경우와 6-Tap FIR 필터를 사용하였을 경우의 초해상도 기법을 각 실험영상 내 10장의 프레임에 적용했을 경우의 원본 영상과의 PSNR 평균을 비교한 결과를 나타내었다. 표 1의 각 열은 순서대로 최단입점, 이중선형, 고등차수, DWT 기반의 초해상도 기법 및 제안된 기법을 나타내었고, 각 행은 사용된 실험 영상을 나타내었다. 제안된 기법의 경우 보간점을 기준으로 하여 유클리디안 거리(Euclidean distance)가 5.0이내에 포함된 정합점들을 사용한 결과이다. 표 1에 나타난 결과와 같이, 제안된 기법이 기존의 세 가지 보간법 보다는 매우 우수한 결과를 보여주지만 DWT 기반의 초해상도 기법의 경우 실험 영상에 따라 근소하게 떨어지는 결과를 보인다. 그러나 ‘Mother and daughter’, ‘Miss America’ 영상의 경우 제안한 기법이 DWT 기반의 초해상도 기법보다 2.0db 이상 높은 수치를 보이는 것을 알 수 있다.

‘Miss America’와 같이 배경이 없는 영상의 경우 더욱 높은 수치가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 부화소 보간에 제안한 6-Tap FIR 필터를 사용한 경우의 초해상도 기법의 결과가 다른 부화소 보간법을 사용했을 경우의 결과들과 매우 큰 차이를 보인다는 것도 표 2에서 알 수 있다.

표 1. 각 실험영상의 PSNR 측정결과 (db)
Table 1. PSNR of each test sequences (db)

	Mother and daughter	News	Miss America
NN	30.538	24.191	36.352
Bi-linear	32.529	26.012	38.363
Bi-Cubic	32.369	26.491	38.199
DWT SR	32.301	29.613	38.621
Proposed	34.798	29.214	40.877

표 2. 부화소 보간 방법에 따른 초해상도 기법의 PSNR 측정결과 (db)
Table 2. PSNR of each methods of the sub-pixel interpolation (db)

	Mother and daughter	News	Miss America
Bi-linear	31.252	25.449	36.196
Bi-Cubic	30.830	24.579	37.459
Proposed	34.798	29.214	40.877

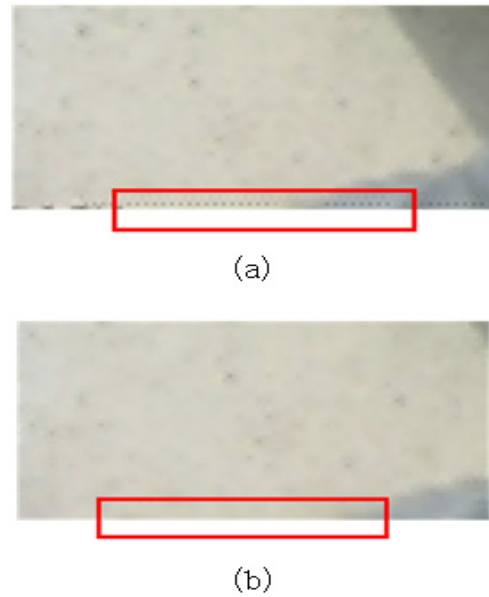


그림 10. 영상외곽의 격자현상 (a) 제거 전 (b) 제거 후
Fig. 10. Noise reduction at the outlines of image (a) before processing (b) after processing

그림 10(a)에 6-tap FIR(finite impulse response) 필터 보간 과정에서 영상의 최 외곽에서 나타나는 격자현상을 사각형으로 나타낸다.



그림 11. Miss America (13번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 최단입점 (c) 이중선형 (d) 고등차수 (e) DWT (f) 제안된 기법
 Fig. 11. Miss America (13th frame) (a) original (b) nearest neighborhood (c) bi-linear (d) bi-cubic (e) DWT and (f) the proposed algorithms

대부분의 영상에서 관심 영역은 외곽보다는 중앙 혹은 그 외의 영역에 위치하기 때문에 외곽 격자현상의 제거와 움직임 추정시간의 단축을 위해 영상 최 외곽 부분의 보간에는 이중선형 보간법을 적용하여 이 현상을 제거한 결과를 그림 10(b)에 나타내었다.

그림 11부터 그림 13는 실험에 사용된 각 영상의 주관적 화질 비교 결과를 보여준다. 각 실험에 사용된 영상마다 열 장의 프레임 중에서 PSNR 수치가 가장 우수한 프레임을 한 장씩 선택하였다. 전통적인 보간법들과의 차이는 뚜렷이 확인할 수 있으나 DWT 기반의 초해상도 기법과는 객관적인 수치에 비하여 육안으로 확연히 결과의 차이를 확인하기는 어렵다. 최단입점 보간법을 사용한 결과는 단순히 원본 정수 화소값을 복사하여 목표 보간점에 그대로 대입하였기 때문에 고주파성분이 다른 결과들에 비해 두드러지게 손상되는 것을 확인할 수 있다.

이중선형 보간법 및 고등차수 보간법의 경우, 최단입점 보간법에서 나타난 계단현상을 상당부분 감

소시킬 수 있지만 객체의 윤곽선이 원본에 비해 확연히 흐려져 역시 결과적으로 고주파성분이 많이 손실된다. DWT 기반 초해상도 기법 및 제안된 기법의 경우 전통적인 보간법들과 비교했을 때 영상 내 윤곽선이 잘 나타난 것을 확인할 수 있다.

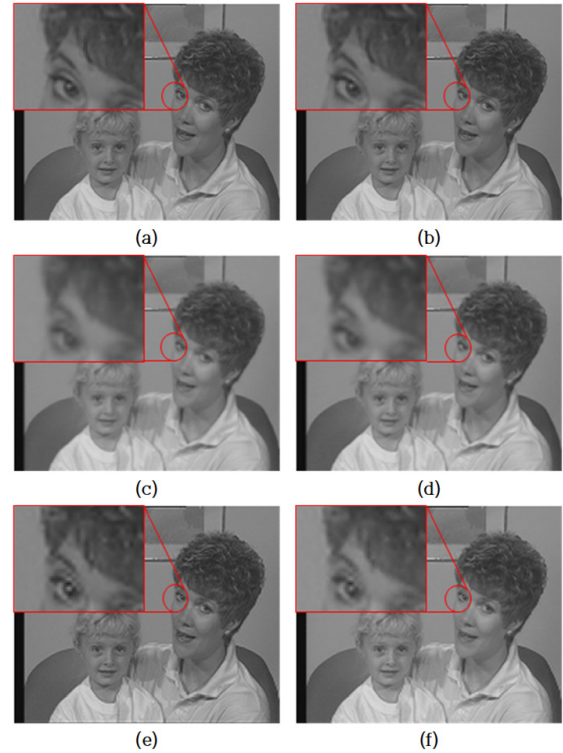


그림 12. Mother and daughter (14번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 최단입점 (c) 이중선형 (d) 고등차수 (e) DWT (f) 제안된 기법
 Fig. 12. Mother and daughter (14th frame) (a) original (b) nearest neighborhood (c) bi-linear (d) bi-cubic (e) DWT and (f) the proposed algorithms

IV. 결 론

본 논문에서는 영상의 해상도 확장 시 기존의 이중선형, 고등차수, DWT 기반의 초해상도 기법 보다 높은 정확도의 고주파 성분을 얻기 위해 여러 장의 연속된 영상을 사용한 초해상도 기법을 적용하였다. 여기에 초해상도 기법 내 움직임 추정과정의 정확도를 높이기 위해 H.264/AVC의 6-Tap FIR 필터를 적용하여 부화소 정밀도의 움직임 추정을 수행하였다. 실험결과 단일 영상을 사용한 기존의 이중선형, 고등차수 보간법 보다 객관적 및 주관적으로 우수한 결과 영상을 얻을 수 있었고, DWT 기반의 초해상도 기법과는 대등한 결과를 얻을 수 있었다.

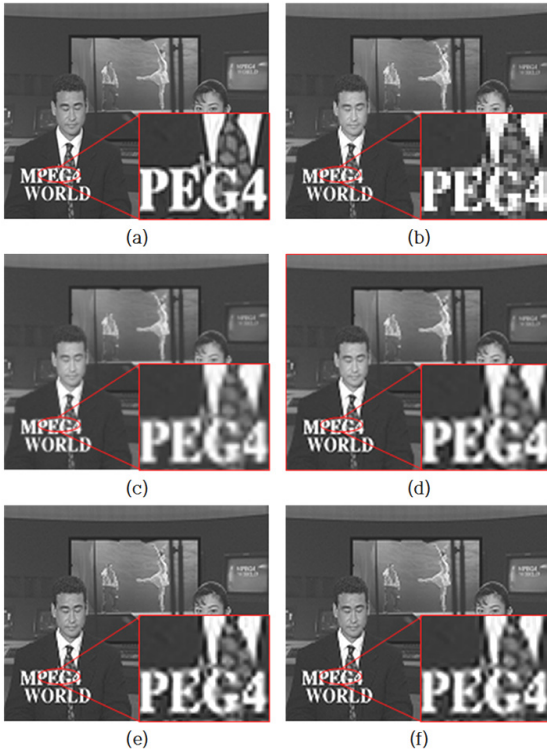


그림 13. News (11번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 최단입점 (c) 이중선형 (d) 고등차수 (e) DWT (f) 제안된 기법
 Fig. 13. News(11th frame) (a) original (b) nearest neighborhood (c) bi-linear (d) bi-cubic (e) DWT and (f) the proposed algorithms

단일 이미지를 사용한 고주파 성분의 복원보다, 인접한 여러 복수 영상을 사용한 고주파 성분의 복원이 우수하지만 몇 가지 제한 점이 있다. 우선 정수단위에 비해 부화소 정밀도의 움직임 추정을 하면 비교적 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있지만, 본 논문에서 사용된 6-Tap FIR 필터는 이미 존재하는 원본 화소에 가중치를 두어 부화소를 추측하는 선형 필터의 성질을 가지고 있기 때문에, 이 역시 정확한 부화소라고 보기는 어렵다. 또한 목표 영상과 인접한 프레임을 추출할 때, 영상 내에서 다른 장면으로 바뀌는 부분의 경우 연속된 저해상도 영상을 얻을 수 없기 때문에 역시 제한이 있다. 앞으로 더 정확한 움직임 추정을 할 수 있는 방향과, 앞서 언급한 제한점을 극복하기 위해 적응적 처리가 가능한 대체 기법에 대한 연구가 필요하다.

References

[1] Freeman W. T., Jones, T. R., and Pasztor E. C. "Example-based super-resolution", *IEEE*, trans. on Computer Graphics and Applications,

vol. 22, pp. 56-65, Mar/Apr. 2002.

[2] Fengung Qin., "An improved super resolution reconstruction method based on initial value estimation", *CISP*, 2010 3rd International Congress, vol. 2, pp. 826-829, Oct. 2010.

[3] G.B Kang, Y.S. Yang, J.H Kim, "A study on Interpolation for Enlarged Still Image", *KIICE* Conference, May. 2001.

[4] J.H. Hyun, J.M. Lim and J.S. Yoo, "Wavelet based Super-Resolution method", *KOSBE* Conference, Jun. 2011.

[5] S.C Kwon, J.S. Yoo, "Super-Resolution Algorithm by Motion Estimation with Sub-pixel Accuracy using 6-Tap FIR Filter", *KOSBE* Conference, Oct. 2011.

[6] Nimish R. Shah, and Avideh Zakhor "Multi-frame spatial resolution enhancement of color video", *IEEE* trans. on Image Processing, vol. 1, pp. 985-988, Sep. 1996.

[7] Nimish R. Shah, and Avideh Zakhor "Resolution enhancement of color video sequences", *IEEE* trans. on Image Processing, vol. 8, pp. 879-885, Jun. 1999.

[8] S.C. Park, M.K. Park, and M.G. Kang "Super-resolution image reconstruction: a technical overview", *IEEE* Signal Processing Magazine, vol. 20, pp. 21-36, May 2003.

[9] Y.M. Seong, H.W. Park, "Super Resolution Image Reconstruction Using Phase Correlation Based Subpixel Registration from of a Sequence of Frames", *IEEK* Conference, Nov. 2005.

[10] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, and Ajay Luthra "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard", *IEEE* trans. on circuits and systems for video technology, Jul. 2003

[11] D. Shepard "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data", *ACM* in Proceedings of the 23rd ACM national conference, pp. 517-524, 1968.

[12] Hidenori Takeshima, and Toshimitsu Kaneko "Image registration using subpixel-shifted images for super-resolution", *IEEE* trans. on Image Processing, 15th IEEE International

Conference on. pp. 2404-2407, Oct. 2008.

[13] T.H. Kim, Y.S. Moon, C.S. Han, "Estimation of Real Boundary with Subpixel Accuracy in Digital Imagery", *KSPE Journals*, Vol. 16, pp. 16-22. Aug. 1999.

[14] H.S. Bae, "Block Based Motion Estimation for Reducing Discontinuity Artifact", *KIEEME Journals*, Vol. 6, pp. 94-101. Jul. 2002.

[15] Naoyuki Hirai, Takahiro Kato, Tian Song, Takashi Shimamoto "An Efficient Architecture for Spiral-Type Motion Estimation for H.264/AVC", *IEEK Conference*, Jul. 2009.

[16] A. Gilman, and D.G. Bailey "Near optimal non-uniform interpolation for image super-resolution from multiple images", *Image and Vision Computing New Zealand*, Great Barrier Island New Zealand. pp. 31-35. 2006.

권순찬 (Soon-chan, Kwon)

정회원



2012년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
 2012년 3월~현재 광운대학교 전자공학과 석사
 <관심분야> Super-Resolution, 영상복원

유지상 (Jisang Yoo)

종신회원



1985년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 서울대학교 전자공학과 석사
 1993년 5월 Purdue 대학교 전기공학과 졸업(Ph.D)
 1993년 9월~1994년 8월 현대전자산업(주) 산전연구소 선임연구원
 1994년 9월~1997년 8월 한림대학교 전자공학과 조교수
 1997년 9월~2001년 8월 광운대학교 전자공학과 조교수
 2001년 9월~2006년 8월 광운대학교 전자공학과 부교수
 2006년 9월~현재 광운대학교 전자공학과 교수
 <관심분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리