

컷 전환에 적응적인 혼합형 초고해상도 기법

권순찬¹ · 임종명¹ · 유지상^{2*}

Hybrid Super-Resolution Algorithm Robust to Cut-Change

Soon-chan Kwon¹ · Jong-Myeong Lim¹ · Jisang Yoo^{2*}

¹ Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

² Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

요 약

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT)을 이용한 단일영상 기반의 초고해상도 기법(super-resolution)과, 복수영상 기반의 초고해상도 기법을 제시하고 두 기법을 혼합한 새로운 초고해상도 기법 기법을 제안한다. 기존의 단일 영상 기반의 초고해상도 기법의 경우 처리 시간이 빠르다는 장점이 있으나 영상 보간 시 사용할 수 있는 정보량이 제한적이다. 또한 기존 복수영상 기반의 초고해상도 기법은 단일 영상을 사용했을 경우보다 영상의 보간 시 많은 정보를 사용할 수 있으나 영상의 내용에 따라 기법의 적용이 제한적이고, 컷(cut)의 경계 부근에서 기법의 성능이 매우 떨어지는 단점이 있다. 제안된 기법에서는 컷 검출(cut-detection) 기법을 통해 각 장면의 경계 부근에서 적응적으로 단일영상 기반의 초고해상도 기법을 사용한다. 또한 움직임 벡터의 정규화 및 블록 단위의 윤곽선(edge) 패턴 분석을 통해 여러 제한조건에 강한 복수 영상 기반의 초고해상도 기법을 제안한다. 실험을 통하여 제안된 기법이 객관적, 주관적으로 기존의 기법보다 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a hybrid super-resolution algorithm robust to cut-change. Existing single-frame based super-resolution algorithms are usually fast, but quantity of information for interpolation is limited. Although the existing multi-frame based super-resolution algorithms generally robust to this problem, the performance of algorithm strongly depends on motions of input video. Furthermore at boundary of cut, applying of the algorithm is limited. In the proposed method, we detect a define boundary of cut using cut-detection algorithm. Then we adaptively apply a single-frame based super-resolution method to detected cut. Additionally, we propose algorithms of normalizing motion vector and analyzing pattern of edge to solve various problems of existing super-resolution algorithms. The experimental results show that the proposed algorithm has better performance than other conventional interpolation methods.

키워드 : 보간법, 초고해상도 기법, 부화소, 움직임 추정, 이산 웨이블릿

Key word : interpolation, super-resolution, sub-pixel, motion estimation, discrete wavelet transform

접수일자 : 2013. 02. 07 심사완료일자 : 2013. 02. 27 게재확정일자 : 2013. 03. 12

* Corresponding Author Jisang Yoo(E-mail:jsyoo@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5112)

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.7.1672>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 HD(2K)급 이상의 고해상도 영상을 재생할 수 있는 기기들의 숫자가 크게 증가하면서, 고해상도의 콘텐츠 수요 또한 함께 증가하고 있다. 따라서 고해상도의 영상을 획득할 수 있는 영상 획득 매체가 크게 증가하고 있으나 이미 촬영된 SD급 이하의 해상도를 가진 콘텐츠의 경우 고해상도의 재생 기기가 지원하는 해상도에 맞게 변환하는 해상도 증대 기술이 필요하다[1]. 또한 해상도 증대 기술은 다양한 분야에서 그 필요성이 증가하고 있는데 CCTV 촬영영상, 인공위성 관찰영상, 의료영상 등의 분석이 그 예이다[2]. 따라서 기존의 영상 획득 기기들의 성능적 한계를 극복하기 위한 다양한 초고해상도(super-resolution) 기법이 제안되어 왔다. 초고해상도 기법은 동일한 사물이나 장면에 대하여 다른 정보를 가지는 복수의 영상들을 조합하여 전통적인 보간법들 보다 좋은 성능으로 영상의 해상도를 확장시키는 기술이다[3]. 그러나 이후 그 의미가 확장되어 단일 영상을 기반으로 하는 초고해상도 기법 또한 다양하게 제안되어 왔다.

단일영상 기반의 초고해상도 기법은 크게 두 가지로 분류된다. 하나는 훈련 영상들을 통해 프로그램 내에 다양한 고주파 패턴을 미리 학습시킨 후 입력 영상에 대하여 유사한 패턴을 찾아 이 정보들을 활용하는 예제 기반의(exemplar-based) 기법이고[4, 5], 다른 하나는 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT) 적용 시 다운샘플링 과정을 생략하여 고주파 성분을 보존한 후 이를 이용해 고해상도로 복원하는 기법이다[2]. 첫 번째 기법은 외부 정보를 활용할 수 있다는 점에서 좋은 성능을 가질 수 있으나 학습하는 패턴에도 해상도의 제한이 있고 패턴의 탐색에 많은 시간을 필요로 하며, 두 번째 기법의 경우 짧은 처리시간을 필요로 하지만 해상도 확장 시 정보량이 제한적이다.

따라서 최근 초고해상도 기법은 복수 영상을 기반으로 하여 연구가 진행되고 있다[6~10]. 기존에 제안된 복수영상 기반의 초고해상도 기법들의 경우, 초고해상도 기법이 적용되는 입력 영상이 단순 회전이나 이동과 같은 전역적 움직임(global translation)이나 매우 작은 부화소(sub-pixel) 단위의 움직임을 포함하고 있어야 좋은 결과를 얻을 수 있다[6, 7]. 이러한 문제를 극복하기 위해 다른 기법이 제안되었으나[8, 9] 이 기법들 역시 객

체의 내부 질감(texture)을 손상시키는 문제점이 있다. 또 다른 방법으로 한 장의 고해상도 영상을 키-프레임(key-frame)으로 하여 인접한 영상들에 이 정보를 적용하고 장면의 경계 부근(boundary of scene)에서 적응적으로 예제기반의 초고해상도 기법을 사용하는 혼합 기법이 제안되었다[10]. 하지만 이 방법 역시 키-프레임으로 사용할 최소 한 장의 고해상도 영상이 존재하지 않으면 적용할 수 없다는 단점이 있고, 복수영상 및 예제기반 초고해상도 기법의 특성 상 긴 처리시간을 요구하기 때문에 실용성이 떨어진다.

본 논문에서는 이러한 기존 방법에 존재하는 문제점들을 극복하기 위하여 움직임 벡터의 정규화 및 윤곽선(edge)의 패턴 분석을 이용한 새로운 복수 영상 기반의 초고해상도 기법을 제안하고 이 기법과 장면 전환이 되는 경계를 찾는 컷-검출(cut-detection) 기법[11]을 이용한 단일 영상 기반의 초고해상도 기법[2]과 혼용할 수 있는 새로운 혼합형 초고해상도 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이산 웨이블릿 변환을 이용한 단일 영상 기반의 초고해상도 기법에 대해 설명하고, III장에서는 움직임 벡터의 정규화 및 블록 단위의 윤곽선(edge) 패턴 분석을 통한 복수영상 기반의 초고해상도 기법을 자세하게 설명한다. IV장에서는 두 기법을 컷 검출을 통해 적응적으로 사용할 수 있는 새로운 혼합형 기법을 제안한다. V장에서는 실험을 통해 제안하는 기법의 우수성을 증명하고, 마지막으로 VI장의 결론에서 본 논문을 마무리 하고자 한다.

II. 단일영상 기반의 초고해상도 기법

그림 1은 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 이용한 일반적인 단일영상 기반의 초고해상도(super-resolution) 기법의 흐름도를 보여준다. 웨이블릿 변환을 이용하는 초고해상도 기법의 핵심은 웨이블릿 영역에서 고주파 성분을 가지는 부대역(sub-band)을 구하는 것이다[2]. 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT) 시 기본적으로 수행되는 다운 샘플링 과정을 수행하지 않고 획득한 고주파 대역의 부대역과 웨이블릿 0-화소 삽입 확장(wavelet zero padding: WZP)의 결과를 이산 웨이블릿 변환하여 얻은 부대역을 합성하여 고주파 부

대역을 획득한다. 이 결과를 역 이산 웨이블릿 변환 (inverse discrete wavelet transform: IDWT) 하여 입력 영상 보다 4배 해상도가 증대된 영상을 얻을 수 있다. 마지막으로 생성된 고주파 부대역이 완벽하지 않기 때문에 나타나는 블록현상을 줄여주기 위하여 블록현상 제거(de-blocking) 필터를 적용한다[12].

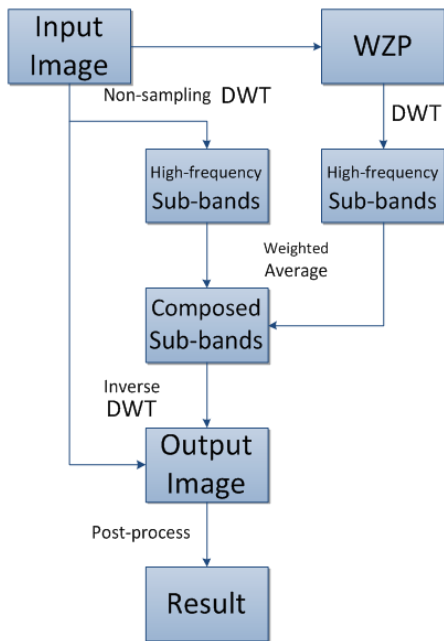


그림 1. 단일영상 기반 초고해상도 기법의 흐름도
Fig. 1 Single-frame based super-resolution algorithm

2.1. 2차원 이산 웨이블릿 변환

영상처리 분야에서 활용되는 2차원 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform: DWT)은 1차원 이산 웨이블릿 변환의 확장으로 볼 수 있으며, 1차원 이산 웨이블릿 변환은 웨이블릿 필터를 사용하여 식 (1)과 식 (2)의 연산을 수행한다.

$$y_{low}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(2k-n)h(n) \tag{1}$$

$$y_{high}(k) = \sum_{n=0}^{M-1} x(2k-n)g(n) \tag{2}$$

여기서 $x(k)$ 는 영상의 화소를 나타내고, $h(n)$ 와 $g(n)$ 는 각각 저대역 통과 웨이블릿 필터와 고대역 통과 웨이블릿 필터를 나타내며, N 과 M 은 각각 저대역과 고대역 필터 계수의 개수를 나타낸다. 사용되는 필터는 직교 특성, 선형 특성, 고주파와 저주파 부분을 정확하게 분할하는 세 특성을 갖는다.

그림 2는 필터 계수가 9개(9-tap)인 필터를 사용할 때 식 (1)과 식 (2)의 연산을 그림으로 표현한 것이다. 본 논문에서는 블록 현상이 적게 나타나는 Daubechies 9/7 필터를 사용한다. 그림 2와 같이 N -탭 웨이블릿 필터를 사용하는 경우 한 화소의 DWT를 수행하기 위해서 N 번의 곱셈과 $N-1$ 번의 덧셈을 수행한다. DWT를 적용할 때, 상하좌우의 영상 경계에서 존재하지 않는 화소들이 발생하는데, 이 화소들은 반드시 필요하기 때문에 상하좌우의 화소를 확장하여 사용해야 한다. 일반적으로 N -탭 필터를 사용할 때, $(N/2) \times 2 \times (n+m)$ 개의 화소를 확장하여 사용하여야 한다 [13].

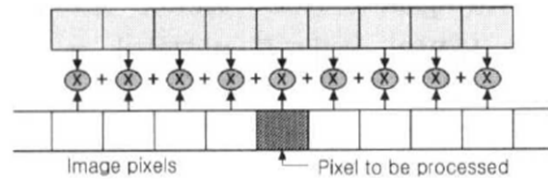


그림 2. 1차원 이산 웨이블릿 변환
Fig. 2 One-dimensional DWT

이러한 1차원 DWT를 그림 3처럼 2차원 영상에 대해 열 방향과 행 방향으로 각각 적용함으로써 2차원 DWT를 구현할 수 있다. 한 영상에 대해 2차원 DWT를 수행하면 모두 4개의 결과 영상을 얻게 되는데 각각의 열과 행에 대해 고대역-고대역(HH), 고대역-저대역(HL), 저대역-고대역(LH), 저대역-저대역(LL) 필터를 통과한 영상이다. 이 4개의 결과 영상을 모두 사용할 경우 원 영상의 4배에 해당하는 영상데이터를 처리해야 하므로, 일반적으로 각 DWT를 수행할 때 두 화소 중 하나만 선택하여 DWT 결과 영상의 데이터 양을 원래 영상과 동일하게 한다. 또한 행과 열에 대하여 독립적으로 수행되므로 영상의 해상도(행과 열의 크기)에 대한 제한은 없다[12].

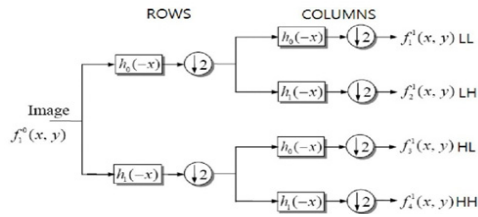


그림 3. 2차원 이상 웨이블릿 변환
Fig. 3 Two-dimensional DWT

2.2. 2차원 이상 웨이블릿 변환을 이용한 고주파 부대역 생성

제한하는 기법에서는 입력되는 영상보다 4배의 해상도를 갖는 영상을 획득하는 것이 목표이며 각각의 DWT을 수행할 때 두 화소 중 하나만을 선택하는 다운 샘플링 과정을 수행하지 않고 모든 화소를 선택하게 되며, 따라서 각각의 부대역들은 입력 영상과 동일한 해상도를 갖게 된다. 본 논문에서 사용한 웨이블릿 기저인 Daubechies 9/7 필터의 계수를 표 1에 나타내었다.

표 1. Daubechies 9/7 필터 계수

Table. 1 Daubechies 9/7 filter coefficients

| k | 저(분할) | 고(분할) | 저(합성) | 고(합성) |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -4 | 0.0267487 | 0 | 0 | 0.0267487 |
| -3 | -0.016864 | 0.0912717 | -0.091271 | 0.016864 |
| -2 | -0.078223 | -0.057543 | -0.057543 | -0.078223 |
| -1 | 0.2668641 | -0.591271 | 0.591271 | -0.266864 |
| 0 | 0.6029490 | 1.1150870 | 1.1150870 | 0.6029490 |
| 1 | 0.2668641 | -0.591271 | 0.591271 | -0.266864 |
| 2 | -0.078223 | -0.057543 | -0.057543 | -0.078223 |
| 3 | -0.016864 | 0.0912717 | -0.091271 | 0.016864 |
| 4 | 0.0267487 | 0 | 0 | 0.0267487 |

그림 4는 본 논문에서 사용한 실험 영상인 Lena, MIT, Pepper 영상의 원본 영상과 2차원 DWT 변환된 계수를 보여주고 있다. Daubechies 9/7 필터를 이용한 2차원 DWT의 결과 고주파 부대역(HH, HL, LH)은 그림 4처럼 계수 값이 크지 않다는 것을 알 수 있다.

그림 4의 원본영상은 해상도가 512×512이며, 이 영상의 해상도를 다운샘플링과정을 통하여 1/4로 줄여 256×256 크기의 저해상도의 실험영상을 생성한다. 그림 5는 저해상도 실험 영상에 대하여 다운샘플링 과정을 생략한 2차원 DWT 결과인 부대역(LL, HL, LH, HH) 계수를 보여주고 있다.

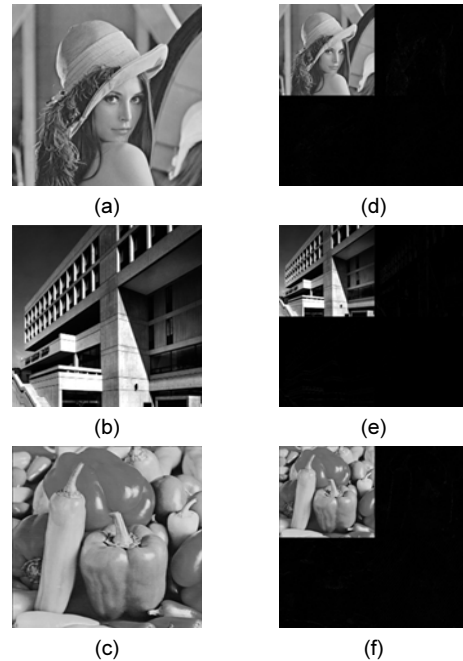


그림 4. 원본영상과 각각의 2차원 DWT 계수 (a~c) 원본영상 (d~f) 각 영상에 대한 2차원 DWT 결과

Fig. 4 Original images and corresponding 2-D DWT coefficients (a~c)ground-truth (d~f) The result image of 2-D DWT of each ground-truth

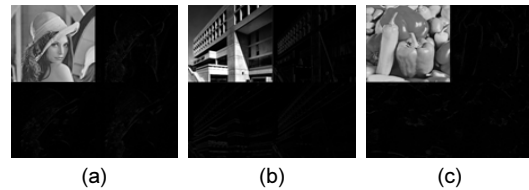


그림 5. 저해상도 영상과 저해상도 영상에서 획득한 고주파 부대역을 합성한 2차원 DWT 영상 (a) Lena (b) MIT (c) Pepper
Fig. 5 Two-dimensional DWT image synthesized from low-resolution image and high-frequency sub-bands obtained from low-resolution image (a) Lena (b) MIT (c) Pepper

이때 LL 부대역 계수는 필터 처리 과정을 생략하고 주어진 저해상도 실험영상을 그대로 사용한다. 그림 5와 그림 4의 부대역(HL, LH, HH) 계수를 보면 계수의 값이 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 차이가 나는 이유는 다음과 같다. 그림 6은 동일 영상의 고해상도 영상과 저해상도 영상에서 한 화소가 차지하는 영역이 저해상도 영상으로 갈수록 커진다는 것을 나타내는 그림이다. 2차

원 DWT가 수행되면서 각 부대역 계수들은 9개 화소들이(9탭 필터의 경우) 저주파 대역필터와 고주파 대역필터를 거쳐 각 화소 내에 포함되어 있는 저주파, 고주파 성분으로 분할되어 생성된다. 따라서 저해상도 영상의 DWT 결과는 각 화소들이 영상의 높은 영역을 차지함에 따라서 비율적으로 영상의 더 많은 부분의 정보들을 포함하게 된다. 그 결과, 저해상도 영상에서 다운 샘플링과정을 생략한 2차원 이산 웨이블릿 변환을 통해 획득한 고주파 부대역 계수들의 크기가 고해상도 영상의 경우보다 커지게 되는 것이다. 따라서 본 논문에서는 그림 5에 나타난 고주파 부대역의 계수 값을 조정하는 과정을 거치게 된다. 저해상도 영상에서 하나의 화소가 차지하는 영상의 비율은 고해상도 영상의 경우보다 4배 높으므로 고주파 부대역의 계수를 4로 나누어 준다.

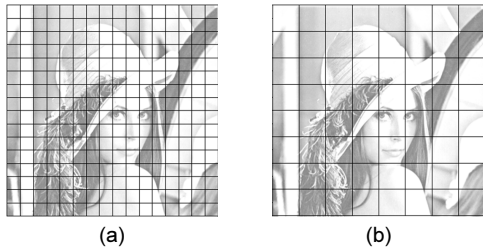


그림 6. 서로 다른 해상도를 가지고 있는 영상의 화소 (a) 고해상도의 영상 (b) 저해상도의 영상
Fig. 6 Pixels with different resolution (a) high-resolution image (b) low-resolution image

2.3. 웨이블릿 0-화소 삽입 확장

웨이블릿 0-화소 삽입 확장(wavelet zero padding: WZP)이란 2차원 DWT된 영상에 대하여 2차원 IDWT를 수행할 때, 고주파 부대역 계수를 모두 0으로 만드는 방법으로, 저주파 대역필터만을 사용하여 영상의 해상도를 높이는 방법이다. 저해상도 영상에서 다운 샘플링을 수행하지 않고 2차원 DWT를 적용하여 획득한 고주파 부대역만을 활용하여 2차원 IDWT를 적용한다면, 고주파 부대역이 완벽하지 않은 이유로 주관적인 화질이 낮아질 수 있다. 이 문제를 개선하기 위하여 본 논문에서는 저해상도 영상에서 웨이블릿 0-화소 삽입 확장을 이용하여 IDWT를 수행한 후 획득한 고해상도의 영상을 다시 DWT를 수행하여 고주파 부대역을 앞서 획득한 고주파 계수들과 가중치를 이용하여 적절히 혼합하여 사용하게 된다.

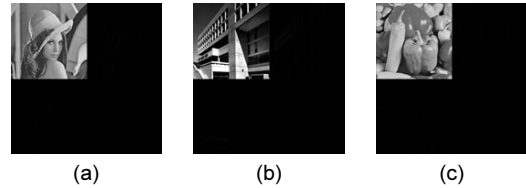


그림 7. 웨이블릿 0-화소 삽입 확장을 통해 획득한 2차원 DWT 영상 (a) Lena (b) MIT (c) Pepper
Fig. 7 Two-dimensional DWT image obtained by WZP (a) Lena (b) MIT (c) Pepper

그림 7은 웨이블릿 0-화소 삽입 확장을 이용하여 획득한 2차원 DWT 영상으로 각 부대역(LL, LH, HL, HH)들의 해상도는 입력된 저해상도 영상의 해상도와 동일하다. 이 그림에서 그림 5의 결과보다 그림 4의 (d), (e), (f)에 표시된 원본의 고해상도 영상의 DWT 결과와 가까워진 모습을 확인할 수 있다.

2.4. 블록 현상 제거 필터

2차원 DWT 후 IDWT 연산을 수행하면 각 부대역(LL, LH, HL, HH)의 하나의 계수는 업샘플링(up-sampling)과정과 필터링(웨이블릿 저주파 합성필터, 웨이블릿 고주파 합성필터) 과정을 거쳐 2x2의 네 개의 값으로 복원된다.

웨이블릿 0-화소 삽입 확장을 적용하여 저해상도 영상으로부터 획득한 고주파 부대역은 고해상도 영상의 2차원 DWT의 결과와 비교했을 때, 데이터의 정확성과 화소간의 연관성부분에서 완벽하지 못하다. 이로 인하여 2차원 IDWT를 적용하는 과정에서 2x2 단위의 블록 현상이 나타난다. 블록 현상 제거 필터(de-blocking filter)를 적용하여 블록현상을 제거하게 된다. 이때 2x2 단위의 블록의 경계와 복원된 영상()의 객체 경계 부분을 구분하여 복원된 영상(512x512)의 선명도를 떨어뜨리지 않도록 해야 한다. 영상의 객체 경계와 블록 경계를 구분할 때 식 (3)의 조건을 이용하여 블록 현상을 제거하기 위한 필터 적용여부를 결정한다.

$$|p_0 - q_0| < \alpha \tag{3}$$

여기서 α 는 블록이 영상의 경계 부분인지 확인하는 임의의 값으로서, 반복적인 실험을 통하여 평균적으로 우수한 효율을 보이는 값으로 결정하고, 이 식을 만족할 경우 블록현상 제거필터를 수행한다.

식 (3)에서 p_0 와 q_0 는 2×2 블록 경계의 화소 위치를 나타낸다. 즉, 블록의 경계를 기준으로 좌, 우의 화소 혹은 위, 아래의 화소 위치가 된다.

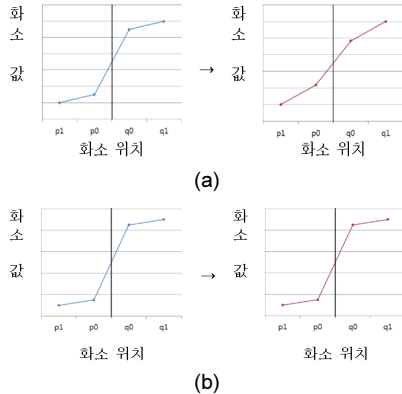


그림 8. 블록 현상 제거 필터 (a) 필터 적용 전 (b) 필터 적용 후
Fig. 8 Process for de-blocking filtering (a) before filtered (b) after filtered

식 (3)를 사용하여 필터의 적용 여부를 판별한 후 적용하는 과정을 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)의 경우는 식 (3)를 만족하여 필터를 적용하는 경우이고 그림 8(b)는 영상의 경계로 판정하여 필터를 적용시키지 않은 경우이다.

그림 9는 본 논문에서 사용한 블록 현상 제거 필터를 직접 영상에 적용한 결과이다. 본 논문에서 사용한 블록 현상 제거 필터는 블록 경계를 기준으로 한 화소씩만 적용하고, 필터의 강도를 약하게 설정하였기 때문에 좀 더 확실한 비교를 위하여 확대된 영상을 첨부하였다. 사용된 영상은 Lena 영상으로 Lena 영상의 머리부분의 작은 장신구를 블록 현상 제거 필터를 적용하기 전과 적용한 후의 영상을 비교하여 나타낸 것이다.

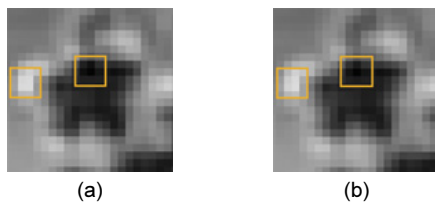


그림 9. 블록 현상 제거 필터의 결과 (a) 필터 적용 전 (b) 필터 적용 후
Fig. 9 Result of de-blocking (a) before filtered (b) after filtered

III. 복수영상 기반의 초고해상도 기법

그림 10은 복수 영상 기반의 초고해상도 기법들의 일반적인 흐름도를 나타낸다. 그림에서 나타난 것과 같이 복수 영상 기반의 초고해상도 기법은 기본적으로 동영상에서 연속되는 프레임간의 높은 상관성을 이용한다. 이 성질을 기반으로 다양한 방법의 영상 정합 (registration) 후 화소 정보를 추출하고 영상 확장 시 선택적으로 사용한다[3].

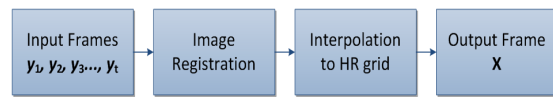


그림 10. 복수 영상 기반 초고해상도 기법의 일반적인 흐름도
Fig. 10 General block diagram of multi-frame based super-resolution

그림 11은 그림 10의 공통적인 흐름도를 기반으로 하여 본 논문에서 새로이 제안하는 기법의 흐름도이다. 먼저 해상도를 확장시키고자 하는 저해상도의 동영상 이 입력된다. 입력 영상에서 목표 프레임을 포함 하여 전, 후 각 3개의 프레임과 함께 총 7개의 프레임이 선택 된다. 또한 선택된 각 프레임에 부화소(sub-pixel) 단위의 정밀한 정합을 위해 6-tap FIR(finite impulse response) 필터를 사용한 부화소 확장을 적용하게 된다. 부화소 확장 후, 2×2 블록 단위의 움직임 추정을 통하여 최초의 정합정보를 추출하고, 제안하는 윤곽선 (edge)의 패턴 분석과 움직임 정보의 정규화를 통해 보정된 정합정보를 목표 영상의 해상도 확장에 사용한다. 이 과정을 반복하여 하나의 확장된 고해상도 영상을 출력으로 얻게 된다.

3.1. 부화소 단위의 화소 이동

인간이 육안으로 보는 자연 영상은 연속적인 아날로그 신호이다. 영상신호를 컴퓨터 처리가 가능한 디지털 신호로 변환하기 위해서는 신호를 디지털화 하는 과정이 필요하다. 그런데 임의의 자연영상이 그림 12와 같이 저해상도 영상이 되는 과정에서 이미지 센서 등과 같은 영상획득 기기의 샘플링 간격으로 인한 필연적인 앨리어싱(aliasing) 현상이 발생하게 되고 이로 인해 원 영상신호의 고주파 성분이 손실된다[14].

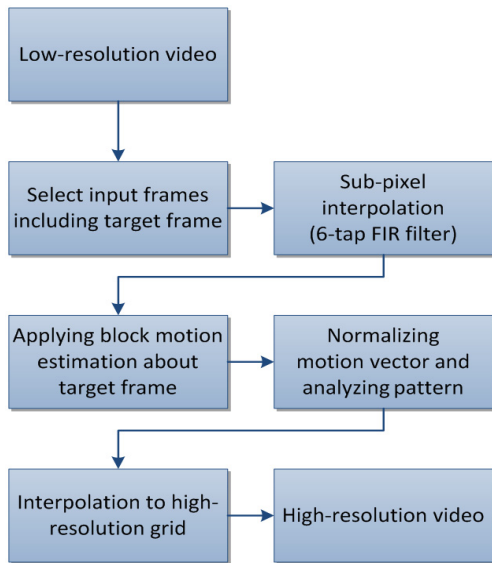


그림 11. 제안된 복수 영상 기반 초고해상도 기법의 흐름도
 Fig. 11 Proposed multi-frame based super-resolution algorithm

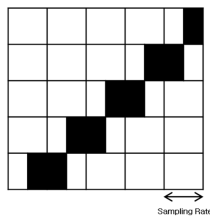


그림 12. 디지털 변환(ADC) 과정에서 발생하는 앨리어싱 현상
 Fig. 12 Aliasing effect by analog to digital process

동영상에서 현재의 프레임을 $f(t)$ 라 하고, 바로 전의 프레임을 $f(t-1)$ 라고 가정하면 장면의 전환 부분이 아닌 경우 두 영상은 서로 근소한 차이만을 갖게 된다. 그림 13은 프레임 간에 존재하는 객체의 움직임을 나타낸다. 그림 4에서 왼쪽 열은 프레임, 오른쪽 열은 프레임을 나타낸다 [1].

그림 13의 (a)는 프레임 간 객체의 이동이 샘플링 간격인 정수단위로 이동한 경우를 나타낸다. 이 경우 디지털화 된 영상에서 $f(t-1)$ 과 $f(t)$ 의 해당 객체는 같은 윤곽선 정보를 가지게 된다. 그림 13의 (b)의 경우는 프레임 간 객체가 샘플링 간격보다 작은 부화소 단위로 이동한 경우이다. 이 경우 첫 번째 경우와 달리 같은 객체에 대하여 서로 다른 윤곽선 정보를 가지게 된다[3].

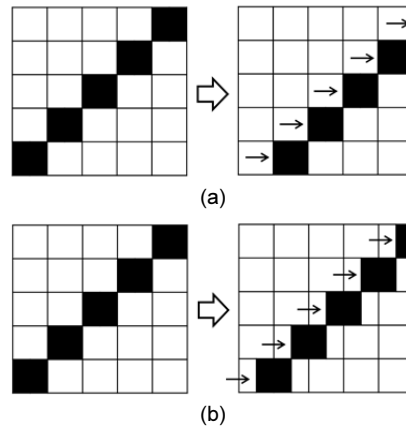


그림 13. 화소 이동 (a) 정수단위 (b) 부화소 단위 ($f(t-1)$; 좌측 열, $f(t)$; 우측 열)

Fig. 13 Pixel movement (a) integer unit (b) sub-pixel unit ($f(t-1)$; left column, $f(t)$; right column)

첫 번째 경우처럼 복수의 영상이 서로 같은 윤곽선 정보를 가지고 있다면, 해당 영상들로는 초고해상도 기법 적용이 불가능하고 이 경우 영상간 정수 단위의 화소이동이 일어났다고 정의한다. 그러나 두 번째 경우는 서로 다른 윤곽선 정보를 조합하여 초고해상도 기법을 적용할 수 있으며 이 경우 영상간에 부화소 단위의 화소이동이 일어났다고 정의한다[1]. 따라서 복수영상을 기반으로 하는 초고해상도 기법을 적용하기 위해서는 입력 영상간 부화소 단위의 이동이 보장되어야 하고, 이와 같은 가정하에 본 논문에서는 부화소 단위의 움직임 추정을 적용한다.

3.2. 6-tap FIR 필터를 통한 부화소 단위의 움직임 추정

3.1절에서 언급한 바와 같이 복수영상 간 초고해상도 기법이 가능하기 위해서는 입력영상들이 부화소 단위의 움직임 벡터를 가져야 하며, 부화소 단위의 움직임을 찾아내기 위해 입력영상들에 대한 부화소 확장이 필요하다. 본 논문에서는 1/4 화소(quarter-pixel) 단위의 움직임 추정을 통한 정합방법을 사용하기 때문에, 입력 영상들에 대하여 가로 4배, 세로 4배로 총 16배의 영상 확장이 필요하다. 여기에 사용되는 방법은 대표적으로 이중 선형(bi-linear), 고등차수(bi-cubic), 랭코츠(Lanczos) 보간법 등이 있으며[1]. 움직임 추정 및 초고해상도 기법에 가장 적합한 보간법은 H.264/AVC의 표준에서 사용되는 6-Tap FIR 필터이다[1]. 따라서 본 논문에서는 부

화소 탐색방법인 6-Tap FIR 필터 기반의 부화소 확장을 적용한다. 식 (4)은 1/2 화소(half-pixel)탐색 과정을 나타낸다[15].

$$\begin{aligned}
 b_1 &= (E - 5F + 20G + 20H - 5I + J) & (4) \\
 h_1 &= (A - 5C + 20G + 20M - 5R + T) \\
 b &= (b_1 + 16) \gg 5 \\
 j_1 &= cc - 5dd + 20h_1 + 20m_1 - 5ee + ff \\
 j &= (j_1 + 512) \gg 10
 \end{aligned}$$

여기서 b와 h는 각각 1/2 화소 단위의 화소 값을 의미하고, A, C, H, G, M, R, T, E, F, H, I, J는 각각 정수 단위의 원본 화소 값을 의미한다. 또한, 각 정수단위의 화소에 곱해지는 숫자는 가중치를 나타낸다. 그림 14는 식 (4)에 따른 화소의 배치도를 나타낸다.

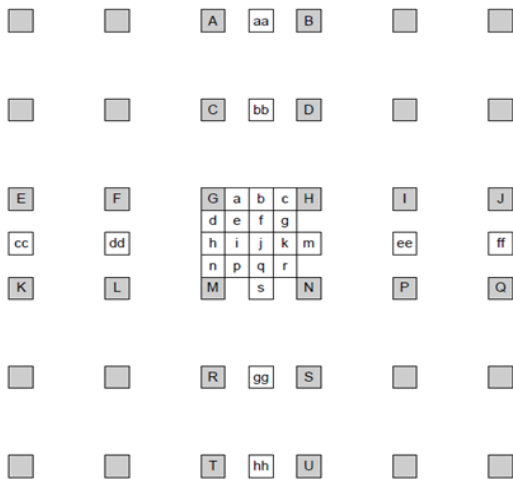


그림 14. 6-tap FIR 필터 설명을 위한 화소 배치도
Fig. 14 Pixel chart for the description of 6-tap FIR filter

그림 14에서 대문자로 표시되어 있는 회색 사각형은 원본 정수 화소를 나타낸다. 그림 14와 같이 1/2화소를 구한 후 1/4 화소(quarter-pixel) 또한 식 (5)와 같이 선형 보간법을 적용해 구할 수 있다[15].

$$a = (G + b + 1) \gg 1 \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)를 이용하여 가로, 세로 각 4배, 총 16 배로 부화소가 확장된 입력영상을 가지고 목표 영상에

대하여 블록단위의 움직임 추정을 적용하게 된다. 움직임 추정은 그림 15와 같이 현재 영상과 다음 영상의 시간적 중복성(temporal redundancy)을 이용하여 이전영상의 차분(difference)만을 저장하여 현재영상을 만들어 내는 원리를 가진다[16].

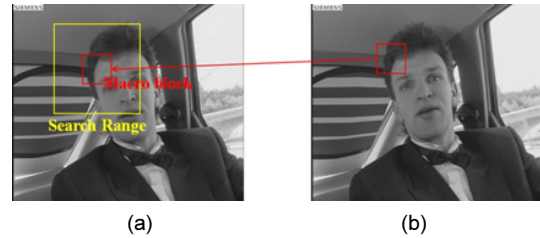


그림 15. 움직임 추정에서의 영상 간 시간적 중복성 이용 (a) (t-1)th 프레임 (b) (t)th 프레임
Fig. 15 Use of the property of temporal redundancy of motion estimation (a) (t-1)th frame (b) (t)th frame

본 논문에서는 2x2 블록단위의 움직임 추정을 이용함으로써 영상 간 복잡한 움직임이나 지역적인 움직임(local motion)에 적합한 정합이 가능하다. 영상 간 유사 블록의 탐색 기준은 식 (6)과 같이 SAD(sum of absolute difference)값을 이용한다 [16].

$$SAD(i,j) = \sum_{y=0}^1 \sum_{x=0}^1 |B_t(x,y) - B_p(i+x,j+y)| \quad (6)$$

여기서 SAD(i,j)는 탐색 영역 내 (i,j) 화소에서 SAD 값을 나타내고, x 및 y는 매크로 블록내의 좌표를 나타내며, 각각 0과 1의 값을 가질 수 있다. B_t는 목표 영상 내의 매크로 블록, B_p는 p번째 입력 저해상도 프레임내의 매크로 블록을 나타낸다. 움직임 추정에 많은 연산을 필요로 하는 과정으로, 속도를 높이기 위해 다양한 방법이 제안되었으나[17, 18] 속도가 빨라지면 정확도가 낮아진다. 본 논문에서는 전역탐색(full search) 방식의 움직임 추정을 사용한다.

3.3. 움직임 벡터의 정규화

본 논문에서는 움직임 벡터의 정규화를 통해 한 화소 이상의 큰 움직임 벡터를 갖는 일반적 영상에 대해서도 초고해상도 기법을 적용할 수 있도록 한다. 그림 16은 이를 위한 움직임 벡터 정규화 기법의 흐름도를 나타낸다.

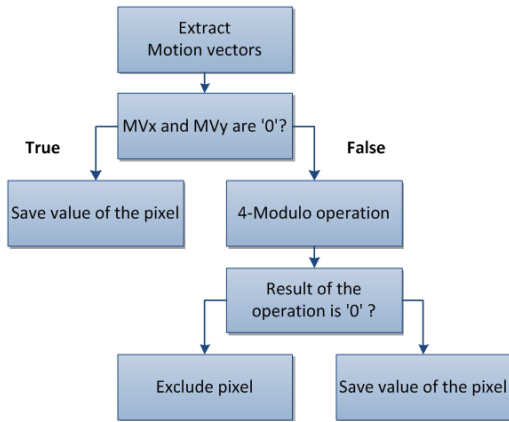


그림 16. 움직임 벡터의 정규화 기법 흐름도
Fig. 16 Block diagram of motion vector normalization algorithm

먼저 전체 p 장의 입력영상에서 목표영상 내 하나의 처리 블록에 대하여 나머지 $p-1$ 장에 대한 2×2 블록 단위 움직임 추정을 한다. 움직임 추정 결과로 하나의 목표 보간점에 대하여 총 $2 \times 2 \times (p-1)$ 개의 움직임 벡터를 얻을 수 있다. 이 벡터의 값이 0이 되는 경우 목표 보간점과의 거리가 0이므로 정규화를 거치지 않는다. 만약 0의 벡터 값을 가지는 화소가 복수 개라면, 해당 화소들의 평균 값을 목표 보간점에 대입한다. 반대로 추출한 움직임 벡터의 크기가 0이 아닌 경우, 4의 모듈로(modulo) 연산으로 움직임 벡터를 정규화한다. 여기서 4의 모듈로 연산을 하는 이유는 1/4 화소 정확도의 움직임 추정을 위해 입력영상들에 대하여 가로 4배, 세로 4배의 부화소 확장을 적용하였기 때문이다. 만약 모듈로 연산의 결과가 0이라면, 해당 화소는 부화소 단위가 아닌 정수단위의 이동량을 가지므로 목표점 보간에 사용하지 않는다. 모듈로 연산의 결과가 0인 경우를 제외하고 4의 모듈로 연산의 결과로 가능한 값은 1, 2, 3으로, 각각에 대하여 0.25, 0.5, 0.75의 부화소 이동량을 부여하고 해당 화소 값을 저장한다. 이렇게 얻어지는 정규화된 움직임 벡터가 가리키는 각 입력 저해상도 영상의 정합점들과 그 화소 값들은 3.5절에서 언급할 커널(kernel) 추정법을 통한 목표 화소 보간에 사용된다.

3.4. 블록 내 윤곽선의 패턴 정의기법

기존 복수영상 기반의 초고해상도 기법의 경우 정합의 결과로서 얻은 화소 값들에 대해 정합의 정확도나

윤곽선의 패턴을 고려하지 않고 다양한 보간법을 통해 목표 보간점의 화소 값을 구한다. 그러나 이 경우 적합하지 않은 화소 값이라도 부화소 이내의 움직임 조건만 만족하면 사용될 수 있어 제안하는 기법의 성능 저하가 발생한다. 이 오류를 그림 17에 나타낸다. 그림 17의 (a)에서 검게 칠해진 부분은 윤곽선을 나타내며, 이 윤곽선이 포함된 블록을 고해상도 복원 시 사용하기 위한 정합점 중 일부를 붉은색과 파란색으로 나타내었다. 파란색으로 표시된 위치에 속해있는 정합점들은 사용하기에 적합하지만, 붉은색으로 표시된 위치의 정합점들은 사용할 경우 화소 값의 정확도가 떨어지고, 경우에 따라 화소 값이 튀는 격자현상이 나타날 수 있다. 이러한 오류를 개선하기 전과 개선한 후의 결과를 그림 17의 (b)와 (c)에 각각 나타내었다.

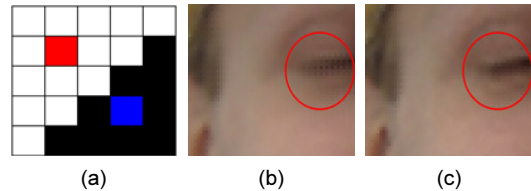


그림 17. 윤곽선의 패턴을 고려하지 않은 정합점의 사용 (a) 다양한 정합점의 위치 (b) 패턴 분석 적용 전 (c) 패턴 분석 적용 후
Fig. 17 Use of registration points without considering edge pattern (a) various position of registration point (b) before using pattern analysis (c) after using pattern analysis

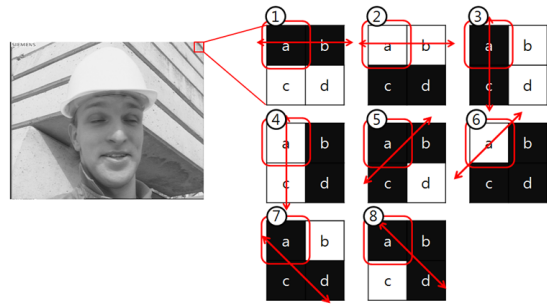


그림 18. 윤곽선의 패턴 고려를 위한 2x2 블록의 8가지 윤곽선 패턴
Fig. 18 Eight edge patterns of 2x2 block for the pattern analysis

본 논문에서는 그림 18와 같이 총 여덟 가지의 윤곽선 패턴 분석을 할 수 있다. 판단의 기준은 다음과 같다.

예를 들어 그림 18의 ①번의 경우, a와 b 및 c와 d의 화소 값의 차이가 매우 작아야 하고, a와 c 및 b와 d의 화소 값의 차이는 충분히 커야 한다. 이러한 차이 값 역시 문턱 값을 정해서 판별하며, 문턱 값에 따라 패턴분석의 민감도를 조절할 수 있다.

이러한 기준에 의해 ①번 패턴으로 판단이 될 경우, 모인 정합점들에 대하여 c와 d범위 내에 있는 점들은 사용하지 않는다. 나머지 7개 윤곽선 패턴의 경우도 마찬가지로, 본 논문에서는 식 (7)과 같이 부화소 탐색으로 구해진 목표 보간점을 기준으로 일정한 문턱 값 이상 차이가 나는 정합점들에 대하여 사용을 제한하도록 한다.

$$|V(P_t) - V(P_r)| < T \quad (7)$$

여기서 $V(P_i)$ 는 정합점 탐색의 기준이 되는 원본 화소 값을, $V(P_r)$ 은 각 정합점의 화소 값을 의미한다. 최적의 T값을 통하여 잘못된 정합점의 사용으로 나타날 수 있는 격자 현상을 줄일 수 있다. 이 절에서 설명한 두 가지 방법을 통해 결과영상에서 경계 부근의 잡음을 효과적으로 제거할 수 있다.

3.5. 1차원 커널 추정법

3.4절의 과정을 통해 선택된 정합점들을 이용하여 목표로 하는 보간점의 화소의 값을 추정한다. 본 논문에서 사용되는 1차원의 커널 추정법(kernel estimation)은 데이터가 주어졌을 때 복수 표본의 위치 및 그 값을 근거로 하여 임의 위치의 값을 구하는 추정법이다. 커널 추정법은 추정식의 차수에 따라 그 정확도가 결정되나, 차수 증가에 따른 식의 복잡도가 매우 커지기 때문에 일반적으로 차수를 0으로 하여 정규화 한 추정식을 사용한다. 추정식의 차수를 0으로 하여 정규화 된 경우 이를 nadaraya-watson 커널 추정식이라 하며, 식 (8)에 나타내었다[19].

$$\hat{f}_{NW}(x) = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i K(x_i - x)/h}{\sum_{i=1}^N K(x_i - x)/h} \quad (8)$$

$$K(u) = 0.6171 \exp(-u^2/2) I(-1/2 \leq u \leq 1/2)$$

여기서 $x_i - x$ 는 목표 보간점과 i 번째 정합점 사이의 유클리드 거리(euclidian distance)를 나타내고, Y_i 는 i 번째 정합점의 화소 값을, h 는 커널 추정식의 대역폭(bandwidth)을 나타낸다. 앞에서 설명한 정규화 과정을 통해 얻은 움직임 벡터는 가로와 세로 방향으로 각각 0.25, 0.5, 0.75의 값을 가질 수 있다. 그림 19는 정합점들과 보간 하고자 하는 목표점과의 위치관계를 나타낸다.

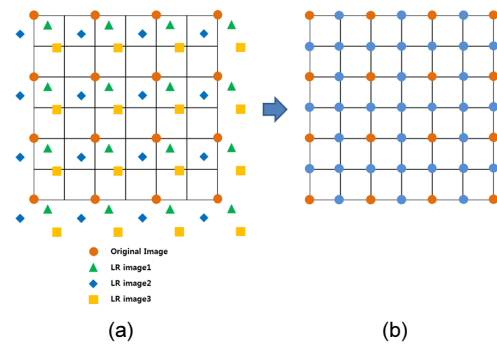


그림 19. 정합점들과 목표 보간점의 위치 (a) 보간 전 (b) 보간 후
Fig. 19 Positions of registration and target pixels (a) before and (b) after interpolation

그림 19(a)에서 나타난 것과 같이 각 정합점들의 위치관계가 정해지면, 목표 보간 점과의 유클리드 거리 및 해당 화소 값이 식 (8)에서 사용되고 이를 통해 그림 19(b)와 같이 최종적인 목표 보간점의 화소 값을 구할 수 있다.

IV. 혼합형 초고해상도 기법

본 논문에서는 II장과 III장에서 설명한 단일영상 및 복수영상 기반 초고해상도 기법을 이용한 혼합형의 새로운 초고해상도 기법을 제안한다. 그림 20은 제안하는 기법의 흐름도이다.

복수영상 기반의 초고해상도(super-resolution) 기법은 동영상에 적용할 시 장면의 경계(boundary of scene)에서 성능이 매우 감소한다는 단점이 있다. 전, 후 프레임 사용해야 하는 복수 영상 기반 초고해상도 기법의 특성상 컷의 경계부근에서는 목표 프레임과 이후의 프레임간의 상관도가 매우 떨어지기 것이 이유이다.

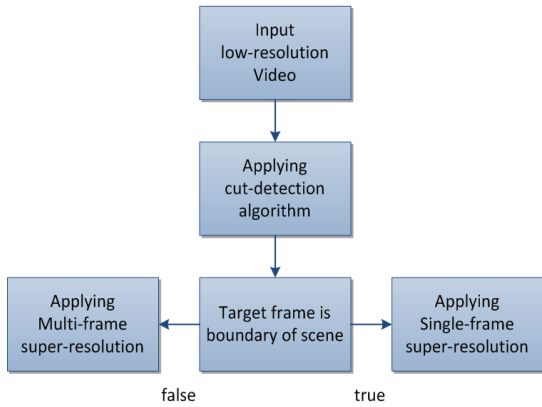


그림 20. 제안하는 혼합형 초고해상도 기법의 흐름도
 Fig. 20 Block diagram of the proposed hybrid super-resolution algorithm

그림 21은 이러한 성능 저하 현상을 나타낸다. 그림에서와 같이 이후 프레임과 상관도의 하락으로 잘못된 정합 점이 보간에 사용되어 잡음이 나타난 것을 확인할 수 있다.

단일 영상 기반 초고해상도 기법의 경우 객관적 성능 수치는 복수 영상을 사용하였을 경우보다 떨어지지만, 추가적인 외부의 정보를 참조 하지 않으면서 기존의 이중선형(bi-linear) 및 고등차수(bi-cubic) 보간법 보다 매우 좋은 성능을 가진다는 점과 처리시간이 짧다는 점에서 활용도가 매우 높다. 따라서 본 논문에서는 그림 20에서와 같이 입력 동영상에 대하여 고속의 컷-검출(cut-detection) 기법[11]을 적용한 후, 장면 전환이 일어나는 프레임의 번호를 저장하고 해당 경계에서는 단일 영상 기반의 초고해상도 기법을 적용하도록 한다.



그림 21. 장면의 경계 부근에서의 기법의 오류
 Fig. 21 Error occurred at the boundary of scene

제안하는 기법에 사용되는 컷-검출 기법은 고속의 검출을 위해 각 프레임의 대각선 방향의 화소만을 추출하여 해당 성분의 색상 차의 자승 합을 인접 프레임과 비교 후 일정 문턱 값을 초과 시 컷이 바뀌는 것으로 정의한다. 그림 22는 프레임 마다 대각선 성분의 화소 값이 추출되어 저장되는 것을 보여준다.

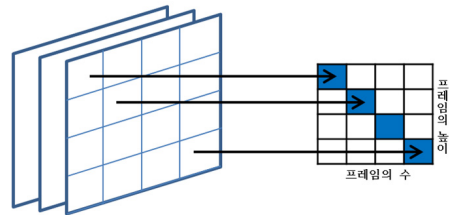


그림 22. 프레임의 추출된 화소 값 저장 구조
 Fig. 22 Storage structure of extracted pixels from each frame

그림과 같이 각 영상의 특정 부분만을 추출하여 비교함으로써 컷-검출의 고속화가 가능하다. 그림 22를 통해 하나의 동영상을 행렬 $A(i,j)$ 로 표현하게 되는데, i 는 프레임의 수, j 는 프레임 영상의 세로 크기를 나타낸다. 행렬 A 의 열 a_i 와 a_{i+1} 의 차이가 크면 장면 전환이 일어난다고 정의한다. 식 (9)는 각 대각선 성분 별 색상 차의 자승 합을 구하기 위해 사용된다[11].

$$E_k = \sqrt{(a_{1(k-1)} - a_{1k})^2 + \dots + (a_{j(k-1)} - a_{jk})^2} \quad (9)$$

여기서 E_k 는 k 번째 프레임과 $k-1$ 번째 프레임 간의 색상 차의 자승 합을 나타낸다. 식 (9)를 통해 얻은 자승 합의 값을 통해 식 (10)의 판별식으로 장면 전환점을 정의한다.

$$|E_{f-1} - E_f| \leq t \quad (10)$$

여기서 t 는 실험을 통해 얻어진 최적의 문턱 값을 의미한다[11]. 이렇게 얻어진 컷의 경계 프레임의 번호를 저장하고, 해당 프레임에서는 단일 영상 기반의 초고해상도 기법을 적용함으로써 복수 영상 기반 초고해상도 기법의 제한을 극복하고 성능을 좋게 할 수 있다.

V. 실험

다양한 주관적, 객관적인 평가를 통하여 제안하는 기법의 성능을 비교하였다. 352×288(CIF) 해상도의 영상 여덟 개(Mother and daughter, Miss America, Car phone, Bridge, Coastguard, Foreman, News, Tempete)를 컷의 전환이 일어나는 상황을 위해 두 개씩 붙여 실험에 사용하였다. 총 4개의 실험 영상에 대하여 176×144(QCIF)의 해상도로 다운샘플링한 후 여기에 이중선형(bi-linear) 기법, 단일 영상 기반의 초고해상도 기법[2], 복수 영상 기반의 초고해상도 기법, 혼합형 초고해상도 기법을 각각 적용하여 원본 영상의 해상도로 복원 후 비교한다. 4개의 실험 영상은 모두 40장의 프레임에 가진다. 객관적인 성능 평가를 위해 식 (11)을 이용하여 PSNR 값을 계산한다[20].

$$PSNR(f, g) = 10 \log_{10} (255^2 / MSE(f, g)) \quad (11)$$

$$\text{where, } MSE(f, g) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - g_{ij})^2$$

여기서 f는 원본 영상, g는 비교하고자 하는 영상, M 및 N은 각각 영상의 가로와 세로의 길이를 나타낸다. 이 수치가 높을수록 비교하고자 하는 영상 g는 원본 영상 f에 가깝고, 성능이 우수한 것으로 판단한다. 각 실험 결과에 식 (11)을 이용한 PSNR 값을 계산하고 평균값을 표 2에 나타내었다.

표 2에서 SSR은 단일 영상 기반, MSR은 복수 영상 기반의 초고해상도 기법을 의미한다. 표와 같이 제안하는 혼합형 초고해상도 기법의 PSNR 값이 이중선형 보간법과 두 개의 초고해상도 기법을 단일로 사용하였을 경우보다 높다는 것을 확인할 수 있다.

표 2. PSNR 측정결과 (db)
Table. 2 PSNR result (db)

| | BL | SSR | MSR | Proposed |
|---------------------------------|-------|-------|-------|----------|
| Mother and Daughter-MissAmerica | 33.16 | 36.05 | 25.03 | 37.21 |
| Bridge-Tempete | 22.27 | 23.02 | 23.10 | 23.70 |
| Foreman-Car phone | 26.30 | 27.90 | 28.03 | 28.89 |
| News-Coastguard | 23.98 | 26.26 | 26.49 | 27.58 |

표 2에서 SSR은 단일 영상 기반, MSR은 복수 영상 기반의 초고해상도 기법을 의미한다. 표와 같이 제안하는 혼합형 초고해상도 기법의 PSNR 값이 이중선형 보간법과 두 개의 초고해상도 기법을 단일로 사용하였을 경우보다 높다는 것을 확인할 수 있다.

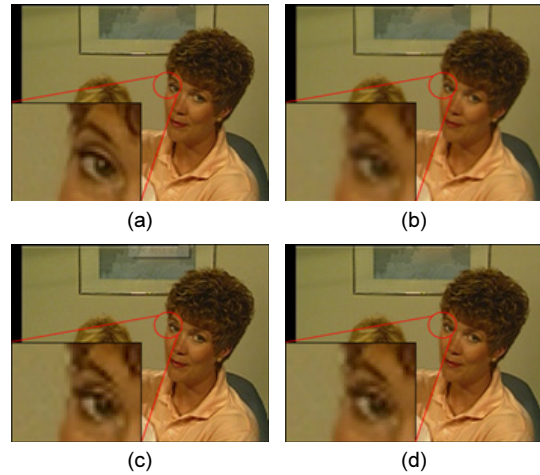


그림 23. Mother and daughter (6번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 이중선형 기법 (c) 단일 영상 기반 초고해상도 기법 (d) 제안된 기법

Fig. 23 Mother and daughter (6th frame) (a) Ground-truth (b) Bi-linear (c) SSR (d) Proposed

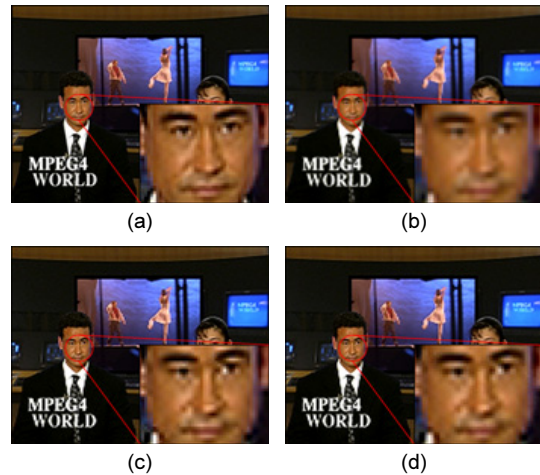


그림 24. News (8번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 이중선형 기법 (c) 단일 영상 기반 초고해상도 기법 (d) 제안된 기법

Fig. 24 News (8th frame) (a) Ground-truth (b) Bi-linear (c) SSR (d) Proposed

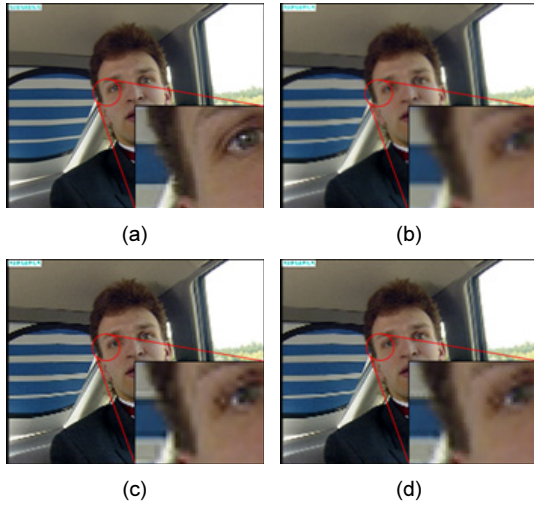


그림 25. Carphone (19번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 이중선형 기법 (c) 단일 영상 기반 초고해상도 기법 (d) 제안된 기법
Fig. 25 Carphone (19th frame) (a) Ground-truth (b) Bi-linear (c) SSR (d) Proposed

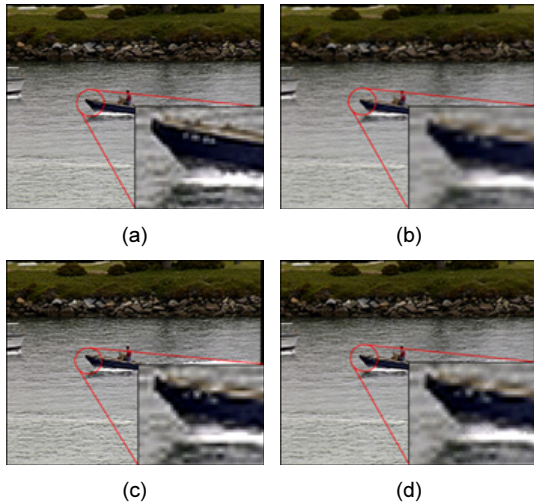


그림 26. Coastguard (4번째 프레임) (a) 원본영상 (b) 이중선형 기법 (c) 단일 영상 기반 초고해상도 기법 (d) 제안된 기법
Fig. 26 Coastguard (4th frame) (a) Ground-truth (b) Bi-linear (c) SSR (d) Proposed

특히 복수 영상기반 초고해상도 기법의 경우 컷 부근에서의 성능 하락으로 인해 전체 평균값이 단일 영상기반 초고해상도 기법에 비해 낮다는 사실도 확인할 수 있다. 또한 제안하는 기법의 PSNR 값이 이중선형 기법

에 비하여 평균 2.9db 이상 높다는 것을 알 수 있다. 그림 23부터 그림 26은 제안하는 기법과 다른 기법과의 주관적 화질 비교를 나타낸 결과이다.

그림 23의 확대된 영상에서 (c)의 단일 영상 기반의 초고해상도 기법보다 정밀한 복원 결과를 확인할 수 있다. 그림 24 역시 결과 내 확대된 영상을 보면 이중선형 보간법과의 차이가 매우 뚜렷하고, 단일 영상 기반의 초고해상도 기법을 사용했을 경우보다 주관적으로 더 깨끗하게 복원된 것을 확인할 수 있다. 그림 25와 그림 26은 비교적 프레임간 움직임이 크고 복잡한 두 실험 영상에 대한 결과를 나타낸다. 제안하는 혼합형 초고해상도 기법에서 그림 17과 같은 정합점의 잘못된 선택으로 인한 잡음을 발생시키지 않고 이중 선형 기법 및 단일 영상 기반 초고해상도 기법보다 주관적으로 더 우수한 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 단일영상과 복수영상 기반의 초고해상도(super-resolution) 기법을 장점만을 취한 혼합형 초고해상도 기법을 새로이 제안하였다. 제안하는 기법에서는 움직임 벡터의 정규화를 통해 다양한 비디오에 초고해상도 기법을 적용 가능하도록 범위를 넓히고, 윤곽선의 패턴 분석을 통하여 각 영상의 내용에 적응적인 보간을 하도록 하였다. 또한 컷-검출(cut-detection) 기법을 사용하여 입력 동영상에서 장면 전환이 발생하는 프레임의 번호를 정의하고 여기에 단일영상 기반의 초고해상도 기법을 적응적으로 적용하여 효율성을 높였다. 실험 결과 제안하는 혼합형 초고해상도 기법이 기존의 이중선형(bi-linear) 보간법, 단일영상 및 복수영상 기반의 기법보다 객관적, 주관적으로 우수한 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0006791)

REFERENCES

[1] S. C. Kwon and J. Yoo, "Super resolution algorithm by motion estimation with sub-pixel accuracy using 6-tap FIR filter," *KICS Journals*, vol. 37, no. 6, pp. 464-472, June 2012.

[2] J. M. Lim and J. Yoo, "Super-resolution algorithm using discrete wavelet transform for single-image," *KOSBE Journals*, vol. 17, no. 2, pp. 344-353, Mar. 2012.

[3] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super- resolution image reconstruction: a technical overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 21-36, May 2003.

[4] W. T. Freeman, T. R. Jones and E. C. Pasztor, "Example-based super-resolution," *IEEE Trans. Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 2, pp. 56-65, Mar. 2002.

[5] H. Chang, D. Y. Yeung and Y. Xiong, "Super- resolution through neighbor embedding," Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings of the 2004, *IEEE Trans. Computer Society*, vol. 1, pp. 275-282, Jun. 2004.

[6] Y. M. Seong and H. W. Park, "Super resolution image reconstruction using phase correlation based subpixel registration from a sequence of frames," *IEEK general conference*, Seoul Univ., Korea, pp. 481-484, Nov. 2005.

[7] H. G. Ha, I. S. Jang, K. W. Ko and Y. H. Ha, "Sub-pixel shift estimation in noisy image using iterative phase correlation of a selected local region," *IEEK Journals*, vol. 47, no. 1, pp. 103-111, Jan. 2010.

[8] S. Farsiu and P. Milanfar, "Kernel regression for image processing and reconstruction," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 2, pp. 349-366, Feb. 2007.

[9] M. Elad, H. Takeda and P. Milanfar, "Generalizing the nonlocal-means to super resolution reconstruction," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 18, no. 1, pp. 36-51, Jan. 2009.

[10] S. C. Jeong and Y. L. Choi, "Video super resolution algorithm using bi-directional overlapped block motion compensation and on-the-fly dictionary training," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 274-285, Mar. 2011.

[11] J. N. Park, J. D. Lee and Y. Huh, "Cut detection methods of real-time image sequences using color characteristics," *IEEK Journals*, vol. 39, no. 2, pp. 64-74, Jan. 2002.

[12] A. L. Peter, A. Joch, J. Lainema, G. Bjontegaard and M. Karczewicz, "Adaptive de-blocking filter," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 614-619, Jul. 2003.

[13] Y. H. Seo, J. H. Kim, D. G. Kim, J. Yoo and D. W. Kim, "An effective method to treat the boundary pixels for image compression with DWT," *KICS Journals*, vol. 29, no. 6, pp. 618-627, Jun. 2002.

[14] T. H. Kim, Y. S. Moon and C. S. Han, "Estimation of real boundary with subpixel accuracy in digital imagery," *KSPE Journals*, vol. 16, no. 8, pp. 16-22. Aug. 1999.

[15] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC Video coding standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, Jul. 2003.

[16] N. Hirai, T. Kato, T. Song and T. Shimamoto, "An efficient architecture for spiral-type motion estimation for H.264/AVC," *IEEK General Conference in the Korea*, Je-ju, Jul. 2009.

[17] Y. Ismail and J.B. McNeely, M. Shaaban, H. Mahmoud and M. A. Bayoumi, "Fast motion estimation system using dynamic models for H.264/AVC video coding," *Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 22, no. 1, pp. 28-42, Jan. 2012.

[18] H. M. Wong, O. C. Au, A. Chang, S. K. Yip and C. W. Ho, "Fast mode decision and motion estimation for H.264(FMDME)," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems ISCAS'06, Greece*, May 2006.

[19] V. K. Asari, M. N. Islam and M. A. Karim, "Super-resolution enhancement technique for low resolution video," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 56, no. 2, pp.919-924, May 2010.

[20] S. Winkler, "The evolution of video quality measurement: From PSNR to hybrid metrics," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 54, no. 3, pp.660-668, Sep. 2008.



권순찬(Soon-Chan Kwon)

2012년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
2013년 3월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야 : super-resolution, image restoration



임종명(Jong-Myeong Lim)

2012년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
2013년 3월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 석사과정
※관심분야 : super-resolution, 3D image warping



유지상(Jisang Yoo)

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
1987년 2월 서울대학교 전자공학과 석사
1993년 5월 Purdue Univ, EE, ph.D
1997년 9월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리