

## 이산 웨이블릿 변환 기반 초고해상도 기법

\*임 중 명, \*유 지 상

\*광운대학교 전자공학과

\*limjm@kw.ac.kr, \*jsyoo@kw.ac.kr

### Super-resolution Based on Discrete Wavelet Transform

\*Jong Myeong Lim, \*Jisang Yoo

Kwangwoon University

#### 요 약

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform : DWT)을 이용한 새로운 초고해상도 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 DWT 수행 시 수반되는 다운 샘플링 과정을 수행하지 않음으로써 입력 받은 영상과 동일한 크기의 고주파 부대역(sub-band)들을 생성하고, 이 부대역들과 입력 받은 영상을 조합하여 이산 웨이블릿 역변환(Inverse Discrete Wavelet Transform : Inverse DWT)을 수행함으로써 고해상도의 영상을 획득한다. 실험을 통하여 제안된 기법이 이중 선형 보간법(bilinear interpolation)에 비해 향상된 효율을 보이며, 확률 기반의 기법들에 비해 처리시간도 줄어드는 것을 확인하였다.

#### 1. 서론

최근 통신 및 디스플레이 등의 기술 발달로 많은 응용 분야에서 고해상도의 영상을 필요로 하고 있다. 고해상도란 영상내의 화소 밀도가 높은 것을 의미한다. 이는 더 세부적이고 정교한 처리를 가능하게 한다. 예를 들어 CCTV 촬영영상, 인공위성 관찰영상, 의료영상 등 정교한 분석을 요하는 영상처리 분야에서 그 필요성이 강조되고 있다[1, 2].

초고해상도 기법은 관찰되었던 단일 혹은 다수의 저해상도의 영상으로부터 고해상도의 영상을 생성하는 기술이다. 디지털 영상 매체에 의해 획득된 영상은 고해상도의 자연 영상이 저주파 대역필터를 통과한 후, 다운 샘플링된 영상으로 모델링 될 수 있다. 이 과정을 거치면서 획득된 영상은 에일리어싱(aliasing) 현상에 의해 많은 고주파 성분의 정보가 손실된다. 따라서 손실된 고주파 성분을 효과적으로 복원하고 영상의 해상도를 높이는 것이 초고해상도 기법의 목표이다[1,2,3]. 단일 영상의 초고해상도 기법은 여러 영상을 참조하지 않는 특성상 데이터 손실 부분을 복원하는 부분에는 한계가 있다는 단점이 있지만, 그 처리 속도가 빠른 장점이 있다.

단일 영상의 초고해상도 기법과 밀접한 연관이 있는 보간법(interpolation)은 영상의 해상도를 높이기 위해 기존 화소들 사이에 적절한 값을 삽입하는 기술이다. 전통적인 영상 보간법은 저해상도 영상에서 화소의 가중치

합(weighted-sum)에 기반을 두고 있으며, 그 중 대표적인 방법으로 최단인접(nearest-neighbor) 보간법, 이중 선형(bi-linear) 보간법, 고등차수(bi-cubic) 보간법 등이 있다. 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 이해할 수 있다. 가중치 기반 방법들은 대부분 저주파 대역필터 특성을 가지고 있으므로 에일리어싱에 의해 손상된 고주파 성분을 효과적으로 복원할 수 없다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에는 영상 보간을 웨이블릿 영역에서 수행하는 여러 방법들이 제안되었다. 웨이블릿 영역에서의 영상 보간은 저주파 대역을 나타내는 부대역들의 계수들로부터 고주파 대역을 나타내는 부대역의 계수의 크기와 부호를 추정하는 과정으로 볼 수 있다[4,5]. 웨이블릿 영역의 각 부대역들의 같은 위치에 해당하는 계수들은 통계적으로 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 이 계수들의 크기는 은닉 마코프 트리(Hidden Markov Tree: HMT) 모델로 효과적으로 모델링 될 수 있다[6]. 이러한 웨이블릿 영역에서 HMT 모델은 잡음 제거 분야에서 좋은 성능을 보여준다. 그러나 잡음 제거와는 달리 영상 보간에서는 저해상도 입력 영상으로부터 고주파 대역의 부대역에 대한 어떤 정보도 직접 획득할 수 없으며, 이러한 정보는 보통 훈련(training)을 위한 데이터로부터 획득된다. 그러나 이렇게 획득된 통계적 정보

는 입력 영상의 원래 정보와 비교할 때 신뢰성이 낮으며 연산의 복잡도가 증가하는 단점이 있다.

이러한 문제를 개선하기 위해, 본 논문에서는 DWT를 이용하여 효율적인 초고해상도 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 주어진 영상에 대하여 다운 샘플링을 하지 않고 DWT를 수행하여 주어진 영상과 동일한 해상도의 고주파 부대역들을 획득하고, 이 고주파 부대역들과 주어진 영상을 Inverse DWT를 통해 합성함으로써 해상도가 높은 영상을 획득하게 된다. 본 논문에서는 원본 영상(512x512)을 다운 샘플링하여 실험 영상(256x256)을 생성하고, 이 실험 영상을 기존의 보간법들과 제안된 기법을 이용하여 원본 영상과 동일한 해상도의 영상을 획득하고 이를 원본 영상과 비교하여 제안하는 기법의 성능을 확인한다.

## 2. 제안하는 기법

그림 1은 본 논문에서 제안하는 초고해상도 기법의 흐름도이다. 웨이블릿 영역에서 수행하는 여러 초고해상도 기법들의 핵심은 웨이블릿 영역에서의 고주파 대역을 의미하는 부대역을 구하는 것이다. 제안하는 기법에서는 DWT에서 기본적으로 수행되는 다운 샘플링과정을 수행하지 않음으로써 획득한 고주파 대역의 부대역과 웨이블릿 0-화소 삽입 확장(Wavelet Zero Padding: WZP)의 결과를 DWT하여 얻은 부대역을 합성하여 고주파 부대역을 획득한다. Inverse DWT를 이용하여 입력된 영상과 획득한 고주파 부대역을 합성하여 해상도가 4배 향상된 영상을 얻는다. 마지막으로 생성된 고주파 부대역이 완벽하지 않기 때문에 나타나는 블록현상을 줄여주기 위해서 블록 현상 제거 필터(de-blocking filter)를 적용한다[7].

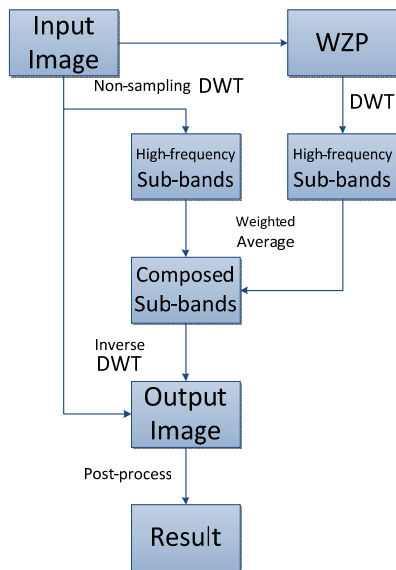


그림 1. 제안하는 기법의 흐름도

## 가. 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT)은 저주파 대역필터와 고주파 대역필터로 구성된 필터뱅크로 수행된다. 이 때, 사용되는 필터는 특수하게 설계된 것으로, 직교 특성, 선형 특성, 고주파와 저주파 부분을 정확하게 분할하는 특성이 있다. 그림 2는 필터뱅크의 동작을 이용한 DWT의 수행 과정을 나타낸 것으로, 필터링은 입력 영상과 필터계수 간의 컨볼루션(convolution) 연산으로 수행한다. 변환 과정에서 가로 방향과 세로 방향으로 각각 웨이블릿 고주파 대역필터와 저주파 대역필터를 통과한 후 데이터의 크기를 절반으로 줄이는 다운 샘플링을 수행한다.

본 논문에서 제안하는 기법은 이러한 다운 샘플링 과정을 수행하지 않음으로써 원 영상과 동일한 해상도를 갖는 고주파 부대역을 획득하고, 실험 영상과 획득한 고주파 부대역으로 Inverse DWT를 수행하여 실험 영상보다 4배 높은 해상도를 갖는 영상을 획득한다.

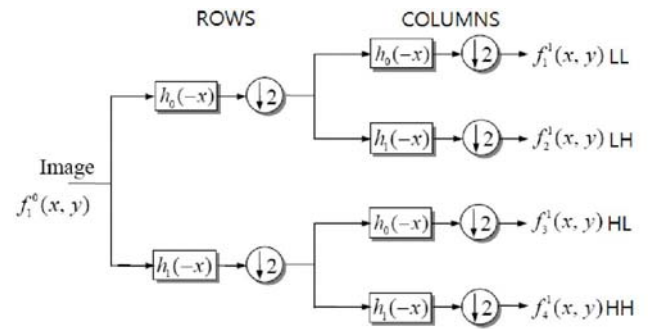


그림 2. 2차원 DWT

다음 표는 실험에 사용한 Daubechies 9/7 웨이블릿 계수를 나타낸 것이다.

표 1. Daubechies 웨이블릿 필터 계수

k	저주파 분할	고주파 분할	저주파 합성	고주파 합성
-4	0.026748757411	0	0	0.026748757411
-3	-0.016864118443	0.091271763114	-0.091271763114	0.016864118443
-2	-0.078223266529	-0.057543526229	-0.057543526229	-0.078223266529
-1	0.266864118443	-0.591271763114	0.591271763114	-0.266864118443
0	0.602949018236	1.11508705	1.11508705	0.602949018236
1	0.266864118443	-0.591271763114	0.591271763114	-0.266864118443
2	-0.078223266529	-0.057543526229	-0.057543526229	-0.078223266529
3	-0.016864118443	0.091271763114	-0.091271763114	0.016864118443
4	0.026748757411	0	0	0.026748757411

## 나. 웨이블릿 0-화소 삽입 확장

웨이블릿 0-화소 삽입 확장(Wavelet Zero Padding : WZP)이란 Inverse DWT를 수행할 때 고주파 부대역을 모두 0으로 대입하여 수행하는 방법으로, 웨이블릿 저주파 대역필터만을 사용하여 영상의 해상도를 높이는 방법이다.

제안하는 기법에서는 저해상도 영상에서 다운 샘플링을 수행하지 않고 2차원 DWT를 이용하여 획득한 고주파 부대역의 평균값으로 고주파 부대역을 생성하여 Inverse DWT를 하기 위해 WZP를 사용하였다.

### 3. 블록현상 제거필터

2차원 DWT의 결과로 2차원 Inverse DWT를 수행할 때, 각 부대역(LL, LH, HL, HH)의 하나의 화소는 업샘플링과정과 필터(웨이블릿 저주파 합성필터, 웨이블릿 고주파 합성필터)를 거쳐 2x2의 네 화소로 복원된다.

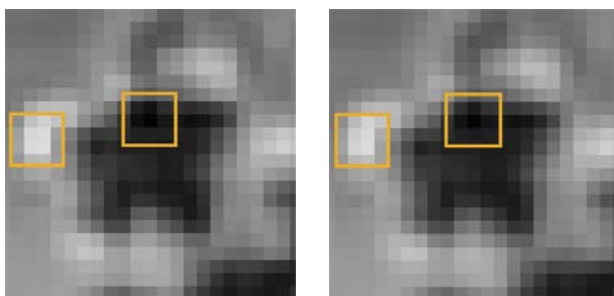
제안하는 기법을 사용하여 저해상도 영상으로부터 획득한 고주파 부대역은 고해상도 영상의 2차원 DWT의 결과와 비교했을 때, 데이터의 정확성과 화소간의 연관성 부분에서 완벽하지 못하다. 이로 인하여 2차원 Inverse DWT를 수행하는 과정에서 2x2 단위의 블록현상이 나타난다. 이를 감소시켜주고자 블록 현상 제거 필터를 적용한다. 블록 현상 제거 필터를 적용하기 위해 2x2 단위의 블록의 경계 중 복원된 영상(512x512)의 경계(영상의 예지) 부분을 구분하여 복원된 영상의 선명도를 떨어뜨리지 않도록 하였다.

영상의 경계와 블록의 경계를 구분할 때 식 (1)의 조건을 두어 블록 현상 제거 필터 적용 여부를 결정한다.

$$|p_0 - q_0| < \alpha \quad (1)$$

식 (1)에서  $\alpha$ 는 블록이 영상의 경계 부분인지 확인하는 임의의 값으로서, 이 식을 만족할 경우 블록 현상 제거 필터를 수행한다.  $p_0$ 와  $q_0$ 는 블록 경계의 화소 위치를 나타낸다. 즉, 경계를 기준으로 좌, 우의 화소 혹은 위, 아래의 화소 위치가 된다.

그림 3은 실제 영상에 블록 현상 제거 필터를 적용한 예로, 그림의 영상은 Lena 영상의 머리부분의 작은 장신구를 확대한 영상이다. 이 그림의 사각형으로 표시한 부분을 보면 블록 현상 제거 필터를 적용한 후, 영상의 블록 효과가 줄어들어 영상이 부드러워진 것을 확인할 수 있다.



(a) 필터 적용 전 (b) 필터 적용 후

그림 3. 블록 현상 제거 필터를 적용한 예

### 4. 실험 조건 및 결과

본 논문에서는 고해상도(512x512)의 Lena 영상, MIT 영상, Pepper 영상을 다운 샘플링하여 저해상도(256x256)의 실험 영상을 획득한 후, 제안하는 기법을

적용하여 고해상도 영상으로 복원한 후 이중 선형 보간법으로 복원한 결과와의 성능을 비교하였다.

표 2. 제안한 기법의 성능 비교 (PSNR)

(단위 : dB)

영상 \ 기법	Lena	Pepper
이중 선형 보간법	30.340236	29.912478
제안된 기법	31.653663	30.528765

표 2. 는 저해상도 영상을 이중 선형 보간법과 제안된 기법을 이용하여 고해상도 영상으로 복원한 후, 고해상도 원본 영상과의 PSNR을 측정한 결과이다. 표 2 에서 제안된 기법이 이중 선형 보간법에 비하여 Lena 영상의 경우 약 1.21 dB, Pepper 영상의 경우는 약 0.61 dB 향상된 결과를 보여주고 있어, 이중 선형 보간법에 비하여 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 Lena 영상과 Pepper 영상의 원본 영상과 이중 선형 보간법과 제안된 기법을 이용하여 실험 영상을 원본 영상의 해상도로 복원한 영상이다.



(a) Lena (b) Pepper

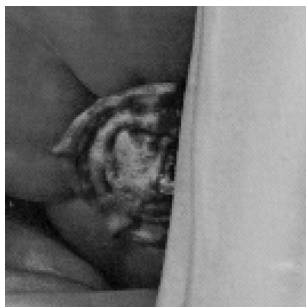
그림 4. 원본 영상(첫번째 줄), 이중 선형 보간법 결과 영상(두번째 줄), 제안하는 기법 결과 영상(세번째 줄)

좀 더 세밀한 비교를 위하여 Pepper 영상의 일부분을 확대하여 그림 5에 나타냈다. 확대된 부분은 Pepper 영상의 우측 하단에 있는 호박의 꼭지 부분으로 저주파 성분과 고주파 성분이 적절히 분배된 부분으로 판단하였다.

그림 5에서 보면 이중 선형 보간법을 이용하여 복원한 영상보다 제안된 기법을 이용하여 복원한 영상이 좀 더 선명한 경계를 얻는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 DWT를 이용하여 단일 영상에 적용할 수 있는 초고해상도 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 먼저 DWT를 수행할 때 수반되는 다운 샘플링 과정을 수행하지 않고 입력된 영상에 대하여 DWT를 수행하여 획득한 고주파 부대역과 WZP방식으로 영상을 복원한 후 DWT를 수행하여 획득한 고주파 부대역의 가중치 평균을 구하여 입력된 영상과 동일한 해상도의 고주파 부대역을 생성하고 이를 이용하여 Inverse DWT를 수행한다. 또한 Inverse DWT를 수행하여 얻은 영상에 생기는 블록 현상에 대하여 블록 현상 제거 필터를 적용시켜 영상의 주관적인 화질을 향상시켰다. 그 결과 제안된 기법이 이중 선형 보간법에 비하여 향상된 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.



(a) 원본 영상



(b) 이중 선형 보간법



(c) 제안된 기법

그림 5. Pepper 영상을 확대한 영상

- [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*, vol. 53, pp. 231-239, 1991.
- [3] R. R. Schultz and R. L. Stevenson, "Extraction of high-resolution frames from video sequences", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, pp. 996-1011, June 1996.
- [4] G. Anbarjafari and H. Demirel, "Image super resolution based on interpolation of wavelet domain high frequency sub-bands and the spatial domain input image", *ETRI Journal*, vol. 32, no. 3, pp. 390-394, Jun. 2010.
- [5] 백영현, 변오성, 문성룡, "웨이브렛 기저를 이용한 초해상도 기반 복원 알고리즘", *대한전자공학회논문지*, 제44권, SP편, 제1호, pp. 17-25, 2007년 1월.
- [6] Kinebuchi K., Muresan D. D., and Parks T. W. "Image interpolation using wavelet based hidden Markov trees", *ICASSP' 01*, vol. 3, pp. 1957-1960, May 2001
- [7] L. Peter, A. Joch, J. Lainema, G. Bjontegaard and M. Karczewicz, "Adaptive deblocking filter", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 614-619, July 2003.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업 융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호 처리 요소 기술 및 SoC 개발]

### 참 고 문 헌