

# 웨이블릿 변환 기반의 초고해상도 기법

\*현지호, \*임종명 \*유지상

\*광운대학교 전자공학과

notoriousjay@kw.ac.kr, limjm@kw.ac.kr, jsyoo@kw.ac.kr

## Wavelet based Super-Resolution method

\*Jee Ho Hyun, \*Jong Myeong Lim, \*Jisang Yoo

Kwangwoon University

### 요약

본 논문에서는 웨이블릿 기저를 적용하여 영상을 주파수 대역이 각각 다른 영상으로 분리하고 이들과 원본 영상을 조합 후 웨이블릿 역변환을 적용하여 고해상도의 영상을 획득하는 초고해상도 기법을 제안한다. 기존의 단일 영상을 이용한 초고해상도 기법의 경우 영상에서의 고주파 대역을 찾기 위해 확률 기반의 여러 다양한 방법이 제시되었으나 연산 복잡도 증가로 인해 처리시간 증가 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 웨이블릿 기저 함수를 이용한 다양한 초고해상도 기법이 제안되었다. 본 논문에서는 주어진 영상 내에서 웨이블릿 기저 함수를 이용하여 주파수 대역 별로 영상을 먼저 생성하고, 원본 영상과 주파수 대역 별로 분리된 영상을 조합한 후 웨이블릿 역변환을 적용하여 해상도를 증가시키는 새로운 기법을 제안한다. 실험을 통해 제안하는 웨이블릿 기반의 초고해상도 기법이 기존의 해상도 향상을 위한 다양한 보간법에 비해 향상된 효율을 보이는 것을 확인하였다.

### 1. 서론

영상을 확대하기 위해 기존 화소들 사이에 적절한 값을 삽입하는 기술을 영상 보간법(interpolation)이라 한다. 근래, 디지털 카메라 같은 디지털 영상 획득 매체의 개발로 영상 보간의 중요성은 점점 커지고 있다. 또한, 영상 보간은 비월주사 방식의 영상을 순차주사 방식으로 전환하는 de-interlacing과 여러 장의 저해상도 영상들로부터 고해상도의 영상을 복원하는 초고해상도(super-resolution) 기법과도 밀접한 관계가 있다[1,2].

디지털 영상 매체에 의해 획득된 영상은 고해상도 영상이 저주파 통과 필터를 통과한 후, 다운 샘플링된 영상으로 모델링 될 수 있다. 이 과정을 거치면서 획득된 영상은 에일리어싱(aliasing) 현상에 의해 많은 고주파 성분의 정보가 손실된다. 따라서 이러한 고주파 성분을 효과적으로 복원하는 것이 영상 보간에서 중요한 기술이다.

전통적인 영상 보간법은 저해상도 영상 화소의 가중치 합(weighted-sum)에 기반을 두고 있으며, 그 중 대표적인 방법으로 최단입점 보간법(nearest-neighbor interpolation), 이중선형 보간법(bi-linear interpolation), 고등 차수 보간법(bi-cubic interpolation) 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 볼 수 있다. 따라서 필터 계수가 되는 가중치들의 주파수 특성을 확인함으로써 해당 보간

법의 성능을 분석할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 가중치 기반 방법들은 대부분 저주파 통과 필터 특성을 가지고 있으므로 에일리어싱에 의해 손상된 고주파 성분을 효과적으로 복원할 수 없다.

최근에는 영상 보간을 웨이블릿 영역에서 수행하는 여러 방법들이 제안되었다[3,4]. 웨이블릿 영역에서의 영상 보간은 저주파 대역을 나타내는 부대역(sub-band)들의 계수들로부터 고주파 대역을 나타내는 부대역의 계수의 크기와 부호를 추정하는 과정으로 볼 수 있다. 웨이블릿 영역의 각 부대역들의 같은 위치에 해당하는 계수들은 통계적으로 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 이 계수들의 크기는 은닉 마르코프 트리(Hidden Markov Tree : HMT) 모델로 효과적으로 모델링 될 수 있다[5]. 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 정보는 입력 영상의 원래 정보와 비교할 때 신뢰성이 낮으며 연산의 복잡도가 증가하는 단점이 있다.

이러한 문제를 개선하기 위해, 본 논문에서는 주어진 영상 내에서 웨이블릿 기저 함수를 이용하여 주파수 대역 별로 영상을 먼저 생성한 후, 원본 영상과 주파수 대역 별로 분리된 영상을 조합하고 웨이블릿 역변환을 적용하여 해상도를 증가시키는 새로운 기법을 제안한다.

## 2. 제안하는 기법

그림 1은 본 논문에서 제안하는 초고해상도 기법의 흐름도이다. 웨이블릿 영역에서 수행하는 여러 초고해상도 기법들의 핵심은 웨이블릿 영역에서의 고주파 대역을 나타내는 부대역을 구하는 것이다. 제안하는 기법에서는 Haar 웨이블릿 기저를 사용한 웨이블릿 변환에서 기본적으로 수행되는 다운 샘플링과정을 수행하지 않음으로써 고주파 대역의 부대역을 구하였다. 생성된 고주파 부대역이 완벽하지 않기 때문에 발생하는 블록 현상을 제거하기 위해 de-blocking 필터를 적용하였다[6].



그림 1. 제안하는 기법의 흐름도

### 2-1. 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT)은 저주파 통과 필터와 고주파 통과 필터로 구성된 필터뱅크로 수행된다. 이 때, 사용되는 필터의 특성은 특수하게 설계된 것으로, 직교 특성, 선형 특성, 고주파와 저주파 부분을 정확하게 분할하는 특성이 있다. 그림 2는 필터뱅크의 동작을 이용한 웨이블릿 변환의 수행 과정을 나타낸 것으로, 필터링은 입력 영상과 필터계수 간의 컨볼루션(convolution) 연산으로 수행한다. 변환 과정에서 각각의 필터링 후 데이터의 크기를 절반으로 줄이는 다운 샘플링을 수행한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 이러한 다운 샘플링 과정을 수행하지 않음으로써 원영상과 동일한 크기의 고주파 부대역을 생성한 후 웨이블릿 역변환을 통해 원본의 영상보다 4배의 해상도를 갖는 영상을 획득한다.

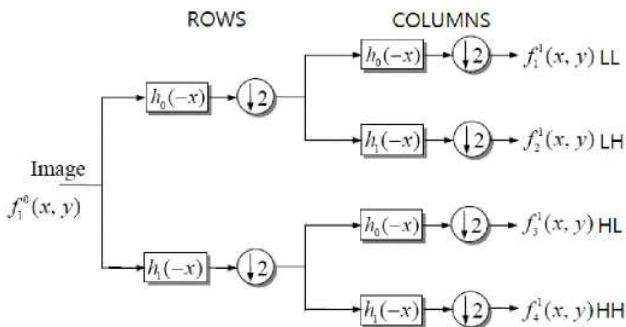


그림 2. 이산 웨이블릿 변환

식 (1)과 (2)는 각각 본 논문에서 실험에 사용한 Haar 웨이블릿 기저를 나타낸다.

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k) \quad (1)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1/2, \\ -1 & 1/2 \leq t < 1, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $\psi_{j,k}(t)$ 는 모 웨이블릿(mother wavelet)  $\psi(t)$ 를 확대 또는 축소시키고 변이 시킴으로써 얻어지는 함수들의 집합을 말하며  $j$ 는 스케일을 조정하는 성분이고  $k$ 는 시간 축을 따라 이동하는 성분이다.

### 2-2. De-blocking 필터

Harr 웨이블릿 기저를 이용한 웨이블릿 역변환 수행 시, 2x2 블록 단위로 영상을 복원하게 된다. 그러나 제안하는 기법에서는 완벽하지 못한 고주파 부대역을 가지고 역변환을 수행하기 때문에, 영상 전체에 걸쳐 2x2 크기의 블록현상이 나타난다. 이 중에는 복원된 고해상도 영상의 경계 부분도 포함되어 있기 때문에, 이러한 부분들에 대해서는 식 (3)과 같은 기준을 두어 필터를 적용한다. 식 (3)에서  $\alpha$ 는 블록이 영상의 경계부분인지 확인하는 임의의 값으로서, 이 값보다 작은 경우 de-blocking 필터를 수행한다.

$$|p_0 - q_0| < \alpha \quad (3)$$

여기서  $p_0$ 와  $q_0$ 는 블록 경계의 화소 위치를 나타낸다. 즉, 경계를 기준으로 좌, 우의 화소 혹은 위, 아래의 화소 위치가 된다.

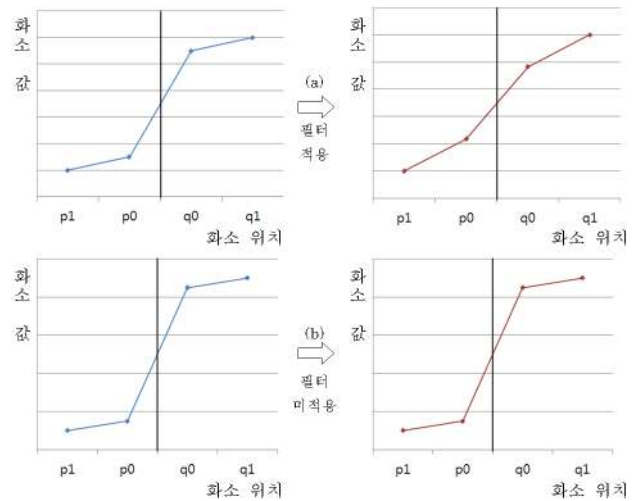


그림 3. De-blocking 필터

그림 3은 제안한 기법에서 적용한 de-blocking 필터의 예시이다. 그림 3(a)의 경우는  $\alpha$ 보다 화소의 변화량이 적기 때문에 블록 현상이 일어난 것으로 판정하여 필터를 적용하는 경우이고, 그림 3(b)는 영상의 경계로 판정하여 필터를 적용시키지 않은 경우이다.

### 3. 실험 조건 및 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 실험하기 위해 사용된 영상은 512x512 크기의 Lena, Barbara 영상이다. 그림 4의 첫 번째 행의 영상이 512x512 크기의 원본 영상이다. 원본 영상을 256x256 크기의 영상으로 다운 샘플링 한 후 고등차수 보간법과 제안하는 기법을 사용하여 다시 원래 해상도로 복원하여 만든 영상을 그림 4의 두 번째와 세 번째 행에 각각 보였다. 정량적인 성능 비교를 위해 다양한 보간법과 제안된 기법으로 복원된 영상을 원본 영상과 비교하여 PSNR을 측정된 결과도 표1에 나타내었다. 표1에서 알 수 있듯이 제안하는 기법이 다른 보간법에 비해 우수하거나 비슷한 PSNR 결과를 얻을 수 있었다.

또한 그림 5는 원본 영상과의 차이를 나타낸 그림으로 제안된 기법이 고등차수 보간법에 비하여 고주파 부분을 획득하는 부분에서 더 우수한 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 더 정확한 비교를 위해 제안된 기법을 적용하여 얻은 결과 영상과 원본 영상을 확대하여 나타내었다.



그림 4. (a) Lena 영상, (b) Barbara 영상  
(위에서부터 원본영상, 고등차수 보간법 결과영상, 제안한 기법 결과영상)

표 1. 저해상도(256x256) 영상을 고해상도화(512x512)한 후의 PSNR 결과

Image	Technique	Nearest Neighbor	Bi-linear	Bi-cubic	Proposed
Lena		28.8	30.82	30.77	33.29
Barbara		25.03	24.99	25.42	25.23

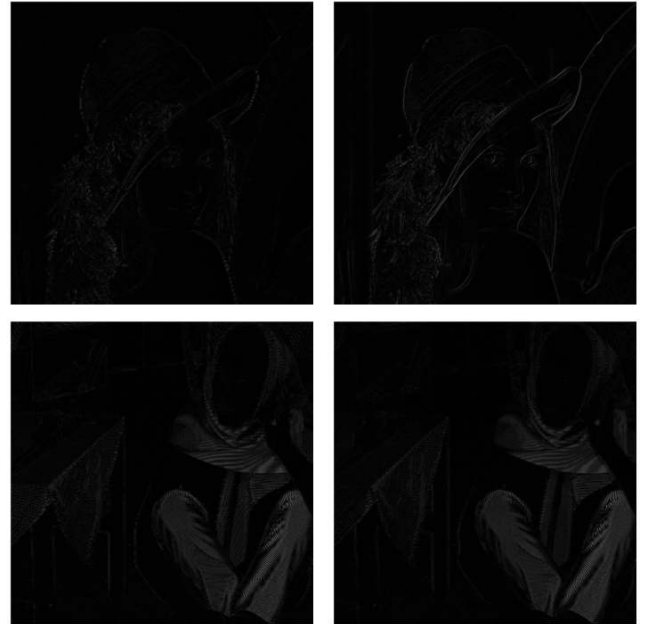


그림 4. (a) 제안한 기법의 결과와 원본 영상의 차이,  
(b) 고등 차수 보간법 결과와 원본 영상의 차이  
(위가 Lena 영상, 아래가 Barbara 영상)

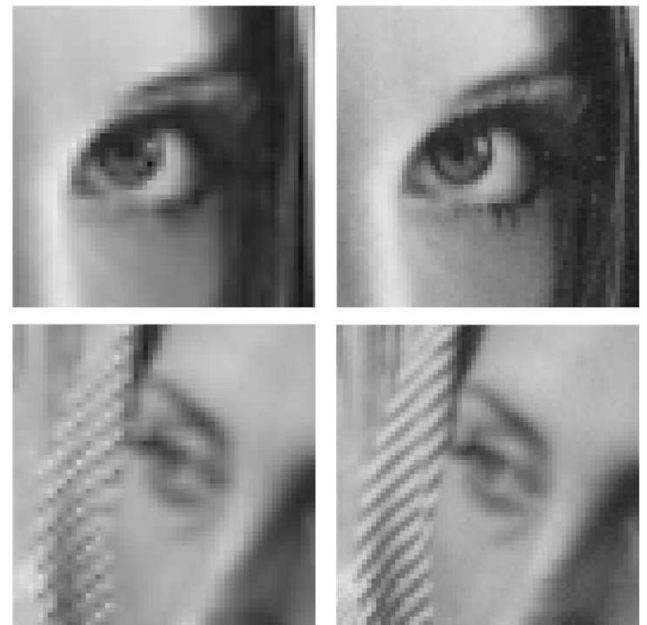


그림 6. (a) 제안한 기법을 사용한 결과, (b) 고해상도의 원본 영상

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 기존의 은닉 마르코프 트리 모델로 고주파 부대역을 재구성 하던 기법과 달리 웨이블릿 변환 과정에서 다운 샘플링 과정을 하지 않고 원 영상과 같은 해상도의 고주파 부대역을 획득하는 방법으로 초고해상도 기법을 제안하였다.

제안하는 기법에서는 고해상도의 영상을 획득하였을 때, 그 경계들을 획득하는 데 있어서의 좋은 성능은 차이 영상과 PSNR을 통해 확인하였지만, 눈이 편하게 영상을 감상할 수 있는 부드러움 측면에서는 높은 PSNR에 비하여 결과가 좋지 못했다. 향후에는 이러한 점들을 개선하는 연구와 de-blocking 필터를 적용할 부분에 대한 경계를 구분하는 방법에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

#### <감사의 글>

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

#### 참 고 문 헌

- [1] Freeman W. T., Jones, T. R., and Pasztor E. C. "Example-based super-resolution", *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 22, pp. 56-65, 2002.
- [2] Fengung Qin., "An improved super resolution reconstruction method based on initial value estimation", *CISP, 2010 3<sup>rd</sup> International Congress*, vol. 2, pp. 826-829, Oct. 2010.
- [3] G. Anbarjafari and H. Demirel, "Image super resolution based on interpolation of wavelet domain high frequency subbands and the spatial domain input image", *ETRI Journal*, vol. 32, no. 3, pp. 390-394, Jun. 2010.
- [4] Gajjar P. P. and Joshi M. V., "New learning based super-resolution : Use of DWT and IGMRF Prior", *Image Processing, IEEE Transactions*. vol.19, no. 5, pp. 1201-1213, May. 2010.
- [5] 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.
- [6] L. Peter, A. Joch, J. Lainema, G. Bjontegaard and M. Karczewicz, "Adaptive deblocking filter", *Circuits and Systems for Video Technology-IEEE Transactions*, vol. 13, pp. 614-619, July. 2003.