

## 영상 조작을 위한 웨이블릿 영역에서의 새로운 보간 기법

\* 김태현, 정진호, 실상훈, 고성제  
고려대학교 전자공학과  
Email: sjko@dali.korea.ac.kr

### A New Method of Interpolation in Wavelet Domain for Image Manipulation

\* Tae-Hyun Kim, Jin-Ho Jung, Sanghoon Sull, and Sung-Jea Ko  
Dept. of Electronics Engineering, Korea University  
Email: sjko@dali.korea.ac.kr

#### 요약

영상 매체의 발전과 더불어 특수 효과나 편집에 사용되는 많은 기술들이 개발되어 왔다. 사진이나 영화 필름으로부터 임의의 부분을 없애거나 조작하여 편집하는 경우, 오려낸 부분에 대해 적절한 후처리 작업이 필요하다. 본 논문에서는 정지영상의 편집과 조작을 위하여 임의 형태의 객체를 잘라 내었을 때, 뒷 배경과 에지의 연결성을 보장하면서 오려낸 부분의 화소값들을 효과적으로 추정하여 채워넣는 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 영상을 웨이블릿 변환(wavelet transform)시켜 얻어진 각각의 부대역의 특성에 따라 개별적인 보간(interpolation) 기법을 적용한다. 먼저 고주파 통과 대역(high-pass band)에서 에지를 검출하여 수평, 수직 방향으로 영역을 분할하고, 구분된 영역에 대해 저주파 통과 대역(low-pass band)에서 적응적 보간을 수행한다. 실제로 영상에 적용한 결과 에지를 효과적으로 복원하면서 오려낸 영상의 화소값들을 추정해 낼 수 있었다.

#### I. 서론

영화 속에서 하늘을 날아다니는 인간의 모습을 표현하기 위해 배우의 몸에 줄을 매달고 촬영을 한다. 그리고, 나중에는 그 줄이 보이지 않도록 특수 효과를 통해 제거하는 작업이 필요하다. 오래된 영화 필름이나 사진을 볼 때 나타나는 작게 굵은 자국이나 원하지 않는 잡음도 인간의 시각에 민감하기 때문에 제거하고자 할 필요가 있다. 이처럼 영상 편집을 위한 임의의 객체 부분이나 잡음을 오려내고 처리하는 기능은 영화나 그래픽 분야 전반에 걸쳐 매우 유용하게 사용될 수 있다. 많은 영상 편집기가 임의의 형태에 대한 절취, 복사, 이동, 삭제 기능을 지원하지만, 오려낸 부분에 대해서는 직접적으로 아무런 처리도 해주지 않는다. 따라서 편집자가 직접 그려 넣거나 인접한 주위 정보 중에서 비슷한 부분을 잘라 붙이기도 한다. 본 논문에서는 임의의 형태로 삭

제된 영상을 추정하여 채워 넣음으로써 자연스러운 영상 편집효과를 나타낼 수 있는 기법을 제안하였다.

단순한 선형적 보간 방법은 인접한 화소들의 평균값으로 처리되므로 에지 형태나 미세한 부분들에 대한 복원력이 떨어진다. 정지영상의 경우 주파수 영역과 공간적 영역에서 반복적인 POCS(projection onto convex set)를 통해 에지 구조를 보존하면서 잡음을 제거하는 방법이 연구되었다 [1]. POCS 이론에 의하면 [2],[3] 정의된 영상 공간에서 제한조건을 갖는 집합으로의 반복되는 투영을 통해 복원 영상이 가지는 조건으로 만족하면서 수렴하게 된다. 그러나 제한조건 집합을 구성할 수 있는 정보가 필요하며, 많은 반복 과정을 거쳐야 한다. 시간 영역에서 왜곡된 신호를 주파수 영역에서 추정하여 복원하는 기술이 연구되기도 하였다 [4]. 잡음이나 오류로 인해 손상된 신호를 푸리에 변환(Fourier transform)하면, 주파수 영역에서 신호의 특성을 이용할 수 있으므로 변환된 영역에서 신호를 추정한 뒤 역변환을 통해 시간 영역의 신호를 복구할 수 있다.

제안한 웨이블릿 기반의 영상 보간 기법에서는 영상 신호를 웨이블릿 변환한 영역에서 공간적 정보와 주파수 정보를 동시에 사용하여 각 부대역의 특성에 맞는 보간 기법을 적용한다. 웨이블릿 변환된 부대역의 계수들은 에지의 방향성을 잘 표현하고 있으므로, 대역의 특성을 이용한 보간 기법을 개별적으로 적용하면 손실된 화소값의 추정과 복원을 효율적으로 수행할 수 있다.

#### II. 웨이블릿 기반의 영상 보간 기법

일반적인 공간적 영역에서의 영상 보간 기법은 추정하고자 하는 화소에 수평, 수직으로 가장 근접해 있는 화소값들을 이용한다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 추정하고자 하는 화소를  $P(i, j)$ 라 하고,  $P(i, j)$ 에 수평, 수직 방향으로 가장 근접해 있는 화소값들을 각각  $P_u, P_d, P_l, P_r$ 이라 할 때,  $P(i, j)$ 는 식 1과 같이 거리에 따른 가중치를 고려한

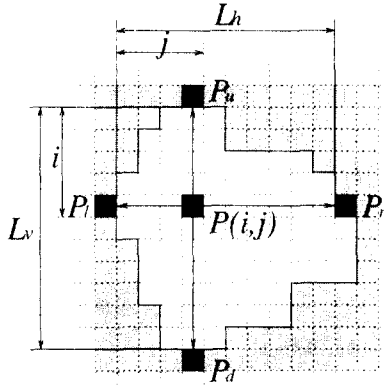


그림 1: 임의 형태의 객체에 대한 선형적 보간 기법

평균값으로 계산된다.

$$P(i, j) = \frac{(1 - \lambda)P_u + \lambda P_d}{2} + \frac{(1 - \mu)P_l + \mu P_r}{2} \quad (1)$$

여기서,  $\lambda = i/(L_v + 1)$ ,  $\mu = j/(L_h + 1)$ 으로 정의한다. 그러나, 이 방법은 객체 내부에 존재할 수 있는 에지를 고려하지 않기 때문에  $P_u, P_d, P_l, P_r$  화소값들이 서로 큰 명암 차이를 가질 때 부자연스러운 결과를 나타낼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 영상 보간 기법은 웨이블릿 변환을 통해 얻어진 부대역들의 고유한 특성을 이용하여 그림 2 (b)에서 정의된 LL, LH, HL 대역에서 개별적인 보간 기법을 적용한다.

## 2.1 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 신호를 대역 분할 부호화와 다해상도(multi-resolution)로 해석하는 이론으로서, 고주파 통과 대역에서는 시간 분해능을 높이고, 저주파 통과 대역에서는 주파수 분해능을 높이는 옥타브(octave) 대역 분할을 통해 시간과 주파수에 대한 지역성(locality)을 가지고 신호를 표현한다. 웨이블릿 기저함수(basis function)  $\Psi_{a,b}(x)$ 는 원형 웨이블릿  $\Psi(x)$ 를 이동 및 신축, 팽창시켜

$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad a \in \mathbf{R}, b \in \mathbf{R} \quad (2)$$

와 같이 구해지는데, 여기서 a는 원형 웨이블릿을 신축, 팽창시키는 스케일(scale) 변수이고, b는 이동(translation)을 나타내는 변수이다. 임의의 신호에 대한 이산 웨이블릿 변환(DWT: discrete wavelet transform)과 그 역변환(IDWT: inverse discrete wavelet transform)은 다음과 같이 정의된다.

$$DWT : W(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{m,n}(x) dx \quad (3)$$

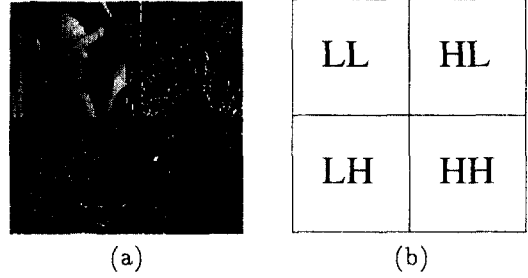


그림 2: 웨이블릿 변환 결과, (a) 변환된 Lena 영상, (b) 변환된 부대역

$$IDWT : f(x) = \sum_m \sum_n W(m, n) \Psi_{m,n}(x) \quad (4)$$

웨이블릿 변환을 통한 영상은 그림 2와 같이 여러 개의 부대역으로 나누어진다. 웨이블릿 변환을 반복적으로 수행할 경우 다단계의 해상도를 갖는 결과를 얻을 수 있지만, 본 논문에서는 영상의 에지 성분을 검출하는 것이 목적이므로 1단계 변환만을 수행하였다. 웨이블릿 변환된 LL 대역은 복원 영상에 미치는 영향이 가장 큰 대역으로서 원 영상 신호가 가지고 있는 에너지의 대부분을 포함하게 된다. LH 대역은 영상의 수평 에지에 해당하는 고주파 성분이 나타나고, HL 대역에서는 수직 에지에 해당하는 고주파 성분이 나타난다. 웨이블릿 변환은 영상의 수평 또는 수직 방향으로의 에지 특성을 LH, HL 대역에서 명확하게 반영하므로 그림 3과 같이 대역에 따라 개별적인 보간 기법을 적용함으로써 에지의 복원을 효과적으로 수행할 수 있도록 한다. 먼저 고주파 통과 대역인 LH, HL 대역에서 각각 수평적 보간(horizontal interpolation)과 수직적 보간(vertical interpolation) 및 에지 검출을 수행한 후, 저주파 통과 대역인 LL 대역에서 적응적 보간(adaptive interpolation)을 수행한다.

## 2.2 고주파 통과 대역에서의 보간 기법

입력 영상  $f(x)$ 를 수평, 수직방향으로 웨이블릿 변환하면 부대역에 따라 에지의 방향성이 나타난다. 따라서 LH 대역에서는 수평적 보간을, HL 대역에서는 수직적 보간을 수행하면 방향성을 갖는 에지 성분을 복원할 수 있다.

$$LH \text{ Band} : P(i, j) = (1 - \mu)P_l + \mu P_r \quad (5)$$

$$HL \text{ Band} : P(i, j) = (1 - \lambda)P_u + \lambda P_d \quad (6)$$

웨이블릿 변환된 고주파 통과 대역의 계수는 그 절대값의 크기가 곧 명암 차이의 정도를 의미한다. 그러므로 임의의 형태로 선택된 객체의 가장자리를 따라서 계수의 절대값을 조사하여, 그 값이 에지 검출의 기준이 되는 임계값보다 클 때 에지가 존재한다고 판정하게 된다. 그리고, 검출된 에지성분을 이용하여 객체의 내부를 그림 4와 같이 수평, 수직 방향

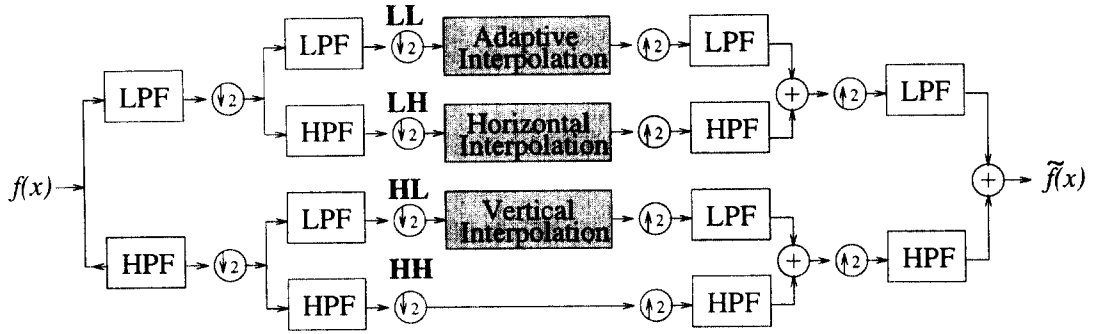


그림 3: 제안된 웨이블릿 영역에서의 보간 기법을 나타낸 블록도

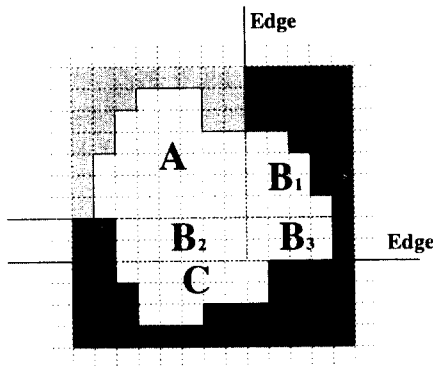


그림 4: 검출된 에지로 구분된 영역

으로 분할하며, 이와 같이 구분된 영역에 대해 LL 대역에서 적응적 보간 기법을 적용한다.

### 2.3 저주파 통과 대역에서의 보간 기법

LL 대역은 저주파 통과 필터를 거친 영역으로서 원래 영상보다 해상도가 반으로 줄어든 결과를 갖는다. 저주파 통과 대역에서는 고주파 통과 대역에서 얻어진 영역 분할 정보를 이용하여 에지의 유무에 따라 보간에 사용되는 정보를 선택적으로 이용한다. 그림 4와 같이 영역이 구분될 때, 제안한 적응적 보간 기법은 그림 1에서 언급한  $P_u, P_d, P_l, P_r$  중에서 보간에 필요한 화소값을 선택하여 사용하도록 한다. 위와 같은 예에서 영역 A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C 내에 속하는 화소값들을 추정하기 위한 보간을 수행할 때, 표 1에 나타난 화소들이 이용된다.  $P_u, P_d, P_l, P_r$ 의 화소값이 서로 큰 명암 차이를 나타낼 때 일반적인 선형적 보간 기법을 적용할 경우 네 값을 모두 사용하므로 부자연스러운 결과를 초래할 수 있으나, 제안된 적응적 보간 기법에서는 보간에 필요한 화소들 중에서 명암의 차이가 적은 화소값만을 선별하여 보간에 사용할 수 있도록 한다. 고주파 통과 대역과 저주파 통과 대역에서 개별적으로 적용된 보간 결과는 웨이블릿 역변환을 통해 출력 영상  $\tilde{f}(x)$ 으로 복원된다.

표 1: 적응적 보간 기법에 사용되는 화소(예)

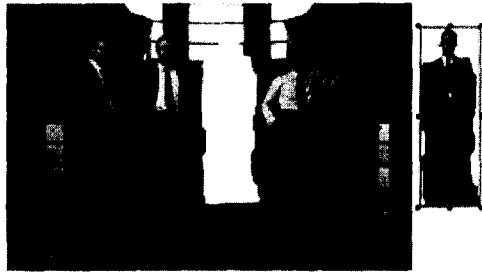
영역	보간에 사용되는 화소
A	$P_u, P_l$
B <sub>1</sub>	$P_u, P_r$
B <sub>2</sub>	$P_l, P_r$
B <sub>3</sub>	$P_u, P_l, P_r$
C	$P_d, P_l, P_r$

## III. 실험 결과 및 고찰

제안된 보간 기법을 이용하여 본 논문에서는 두 개의 정지 영상에 대한 실험을 수행하였다. 그림 5(a)는 계단을 배경으로 하는 사진 속에서 한 사람을 선택하여 오려낸 모습이다. 영상에서 잘려나간 객체 부분에 대해 어떠한 정보도 갖고 있지 않으므로, 이웃한 화소값들을 이용하여 추정해야 한다. 그림 5(b)는 단순한 선형적 보간 기법만 적용한 결과이다. 이 방법은 에지를 고려하지 않고 평균값을 취하기 때문에 창문 쪽의 밝은 부분과 계단 쪽의 어두운 부분이 서로 영향을 미쳐 바람직하지 못한 결과를 나타낸다. 그림 5(c)는 제안한 방법을 이용하여 오려낸 부분을 추정하여 복원한 결과이다. 웨이블릿 변환 영역에서 얻어진 에지 구조에 따라 보간에 필요한 화소를 선별하여 사용하기 때문에 그림 5(b)에서 나타나는 불필요한 영향을 제거하면서 계단 주위의 에지를 효과적으로 복원할 수 있다.

그림 6은 영화의 특수효과를 위해 줄을 매달고 하늘을 나는 장면에서 적용한 결과이다. 줄에 해당하는 부분을 선택하여 제안한 보간 기법을 적용했을 때 주위의 배경과 자연스럽게 어울리면서 줄이 제거됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 보간 기법은 배경의 에지 성분을 충분히 고려하고, 반복적 수행이 필요없이 임의의 영역에 해당하는 부분을 효과적으로 복원시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 에지가 수평, 수직방향이 아닌 대각선 방향으로 존재하는 경우에는 복원 능력이 떨어짐을 관찰할 수 있었다. 영상을 분석하여 객체단위의 영역으로 분할하는 기법과 [5]



(a)



(b)



(c)

그림 5: 영상 편집기에 응용한 결과, (a) 오려낸 입의 형태의 객체, (b) 일반적인 보간 기법을 적용한 결과, (c) 제안된 보간 기법을 적용한 결과



(a)



(b)

그림 6: 영화의 특수 효과에 응용한 결과, (a) 줄을 제거하기 전, (b) 줄을 제거한 결과

다양한 각도의 예지 방향에 대한 보간을 지원할 수 있도록 한다면 [6] 더욱 효과적인 영상 추정과 복원 결과를 기대할 수 있을 것이다.

## IV. 결론

본 논문에서 제안된 웨이블릿 기반의 영상 보간 기법은 입의 형태의 손실된 영역에 해당하는 화소값들을 효과적으로 추정하여 복원할 수 있도록 하였다. 선형적 보간 기법만으로는 예지와 같은 미세한 부분을 되살릴 수 없기 때문에 웨이블릿 변환을 통해 얻어진 고주파 통과 대역에서 수평, 수직에 대한 보간 기법을 적용함으로써, 그 방향으로의 예지를 복원할 수 있도록 하였다. 또한, 검출된 예지 성분에 따라 영역을 분할하고, 구분된 영역에 대해 저주파 통과 대역에서 적응적 보간 기법을 적용함으로써 명암 차이로 발생한 예지 부분을 효과적으로 복원할 수 있었다.

이러한 기법은 입의 객체를 오려내는 영상 편집기, 영상 속의 잡음 제거 및 영상 전송에서 발생하는 오류 은닉을 위한 후처리 등의 다양한 분야에 응용할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] A. N. Hirani and T. Totsuka, "Combining Frequency and Spatial Domain Information for Fast Interactive Image Noise Removal," *SIGGRAPH 96*, pp. 269-276, 1996.
- [2] D. C. Youla and H. Webb, "Image Restoration by the Method of Convex Projections: Part 1 - Theory," *IEEE Trans. on Medical Imaging 1*, pp. 81-94, Oct. 1982.
- [3] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of Damaged Block Transform Coded Image Using Projections onto Convex Sets," *IEEE Trans. on Image Processing 4*, pp. 470-477, Apr. 1995.
- [4] A. Papoulis, "A New Algorithm in Spectral Analysis and Band-Limited Extrapolation," *IEEE Trans. on Circuits and Systems 22*, pp. 735-742, Sep. 1975.
- [5] E. N. Mortensen and W. A. Barrett, "Intelligent Scissors for Image Composition," *SIGGRAPH 96*, pp. 191-198, 1996.
- [6] S. D. Bayrakeri and R. M. Mersereau, "A New Method for Directional Image Interpolation," *ICASSP-95*, pp. 2383-2386, May 1995.