

# 프랙탈과 웨이브릿 변환을 이용한 효율적이고 강인한 워터마킹 기법

## A Robust and Efficient Digital Watermarking using Fractal and Wavelet Transform

윤마루<sup>o</sup> 이윤정 김태운  
고려대학교 컴퓨터학과  
{heaven, genuine, tykim}@netlab.korea.ac.kr

Ma-ru Youn<sup>o</sup> Yoon-Jung Lee Tae-Yun Kim  
Dept. of Computer Science, Korea University

### 요 약

본 논문에서는 웨이브릿 변환과 프랙탈 변환을 함께 적용하여 강인하고 효율적인 워터마킹 방법을 제안하였다. 종래의 방법과 같이 프랙탈 변환만을 이용할 경우 강인함에 비하여 속도가 느리다는 단점이 있다. 크기가 큰 원래 이미지를 프랙탈 변환하지 않고 상대적으로 크기가 작은 워터마크 이미지를 프랙탈 변환함으로써 변환에 걸리는 시간을 줄일 수 있다. 또한 웨이브릿 변환 영역에서 임계치에 의해 삽입에 이용할 계수를 선택적으로 사용함으로써 적절한 대역에 삽입하여 시각적인 왜곡을 최소화 할 수 있다.

### 1. 서 론

디지털 워터마킹이란 디지털 매체의 저작권에 대한 소유권을 보호하기 위하여 디지털 데이터에 특정한 코드나 서명, 로고 이미지 등을 삽입하는 것을 말하며, 워터마크가 삽입된 디지털 매체에서 워터마크를 추출함으로써 멀티미디어 데이터의 인증 뿐 아니라 올바른 소유자를 구별하기 위해 사용될 수 있다.

최근 많은 관심을 받고 있는 웨이브릿 변환은 다해상도(Multiresolution) 해석이 가능하고 시간(공간)-주파수 영역에서 국부적(Localize)인 특성을 갖고 있어 신호처리 및 이미지 해석에 여러가지 응용이 이뤄지고 있다. 프랙탈 변환은 자기 유사성(self-similarity)의 성질이 있어 일부의 정보가 전체 정보를 나타내는 특징을 가지고 있다. 그러나 프랙탈 변환은 변환 시 계산량이 많고 반복 적용해야하므로 속도가 느리다는 단점이 있다. 본 논문에서는 웨이브릿 변환의 다해상도 해석과 프랙탈 변환의 자기 유사성의 특징을 이용하여 비교적 속도가 빠르며 효율적이고 강인한 워터마킹 방법을 제안한다.

### 2. 관련연구

#### 2.1. 프랙탈 변환

70년대 후반, Mandelbrot에 의해 프랙탈 개념이 도입된 이후, Barnsley와 Jacquin[1] 등에 의해 반복 함수계(Iterated Function System : IFS) 등의 프랙탈 이론이 정립되어 영상 데이터 압축 등의 신호처리에 적용되어 왔다. Barnsley에 의해 제안된 IFS 이론은 수축 변환의 성질을 갖는 유사 변환들의 모임으로 표현된다.

$$w_i : \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

유사 변환식은 (1)식과 같이 나타내며, 두 데이터간

의 자기 유사성을 표현해주는 좌표 변환식이다. 여기서 변환 매개변수인  $a_i, b_i, c_i, d_i$ 는 원래 데이터를 확대, 축소, 회전시키는 역할을 하고,  $e_i, f_i$ 는 좌표축 방향으로 이동시키는 역할을 하게 된다. 이러한 변환식이 주어진 데이터에 대해 수축적일 때 이를 수축 변환이라 하며, 이 변환식을 임의의 데이터에 반복적으로 적용하게 되면 간단한 알고리즘으로 매우 복잡한 프랙탈 영상을 만들어 내는 것이 가능하게 된다. 역으로 복잡한 프랙탈 형상에서 그 변환식을 찾아내는 것이 프랙탈 부호화 과정이다.

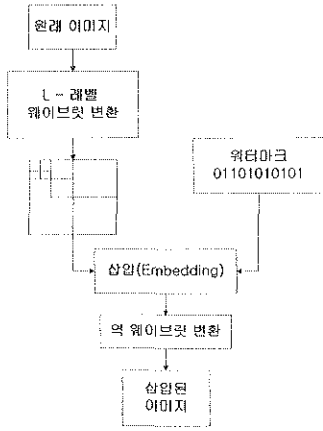
#### 2.2. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환의 기저 함수(basis function)는 모웨이브릿(mother wavelet)이라 불리는 한 함수의 확대/축소(dilation)와 변이(translation)에 의해 만들어진다. 웨이브릿의 정의는 아래의 식(2)과 같다. 식(2)에서  $\phi(x)$ 가 근원 웨이브릿이고,  $\phi(x)$ 를  $b$ 만큼 이동하고  $a$ 만큼 확장하여 주파수 영역에 따른 다해상도(multiresolution)를 갖게 된다. 웨이브릿 변환의 정의는 다음과 같다.

$$WT_{f(a,b)} = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (2)$$

#### 2.3. 기존의 삽입(Embedding) 방법

##### 2.3.1. 웨이브릿을 이용한 방법



<그림 1> 기존의 삽입방법

원래 이미지를 L-레벨 웨이브릿 변환하여 웨이브릿 변환 영역에서 위터마크 시퀀스와 결합한 뒤 다시 역 변환함으로써 삽입 이미지를 얻게 된다[2].

2.3.2. 프랙탈을 이용한 방법

아래의 유사변환(Affine Transform)

$$w_i : \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3)식에서  $b_i = c_i = 0$  으로 하여

$$w_i : \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & 0 \\ 0 & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

이 식에서  $a_i, b_i$ 를 변형하여 위터마크를 삽입하게 된다. 위터마크 정보는 텍스트 문자의 ASCII값을 이진화하여 적당한  $a_i, b_i$ 을 결정한다. 이 값을 위 변환식에 넣어 이미지에 반복 적용하면 패턴 이미지가 생성된다. 이를 원래 이미지에 삽입함으로써 위터마크가 이취지게된다[3].

3. 프랙탈과 웨이브릿 변환에 기반한 위터마크 기법

3.1 삽입 방법

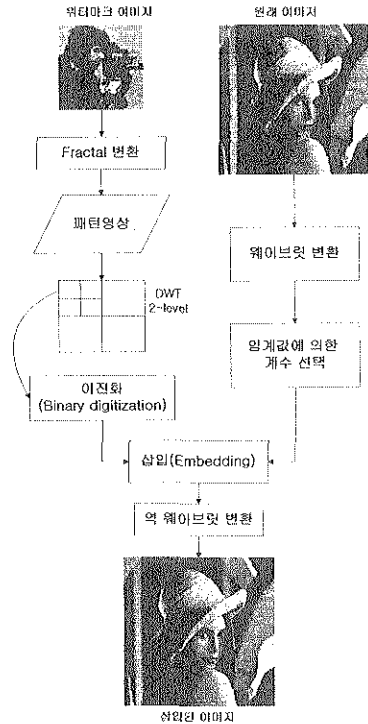
프랙탈 변환은 자기 유사성(self-similarity)의 특징을 갖고 있으므로 변형에 강하다. 반면 변환 적용 속도가 느리므로 종래방법과 같이 원래 이미지 전체를 프랙탈 변환 반복 적용하면 무척 오랜 시간이 걸려 실 시간 적용이 불가능하다. 그러므로 제안한 방법에서는 작은 크기의 위터마크 이미지를 프랙탈 변환하게 되며 웨이브릿 변환의 특징인 다해상도 해석 방법을 이용하여 에너지가 집중되는 LL대역만을 삽입에 사용하게 되므로 삽입될 위터마크 정보를 효과적으로 줄일 수 있다. 이때 프랙탈 변환이 이뤄진 패턴 영상에 대한 웨이브릿 변환의 회수가 많아지면 삽입해야할 위터마크 정보의 크기는 줄게 되지만 위터마크 정보의 손실이 커지게 된다. 그러므로 웨이브릿 변환의 회수를 조절함으로써 위터마크 강도를 가장 적절하게 조절할 수 있다.

원래 이미지도 웨이브릿 변환 영역에서 계수를 임계값에 의해 분류하여 삽입시 사용하게 된다. 웨이브릿 변환 부대역(subband)에서 에너지가 집중 되어있는

LL대역 즉, 저주파 영역에 삽입할 경우 시각적(perceptually)으로 변형이 심하게 일어나게 된다. 반면 다른 부대역(HL, LH, HH)에서 선택하여 사용하게 될 경우 절단공격(cropping)이나 손실 압축에 의해 정보가 상실될 가능성이 높으므로 임계값을 두 개 택하여 중간 대역의 계수만을 사용하여 위터마크를 삽입하게 된다.

프랙탈 변환후 다시 웨이브릿 변환된 위터마크 정보의 이진화 과정은 부호를 포함하여 각 자리수마다 이진수로 바꾸게 된다. 예를 들어 -45의 경우 부호(-)는 첫 번째 비트 1, 백의 자리는 3비트를 할당하나 0이므로 000, 십의 자리는 4비트를 할당하여 0100, 일의 자리도 4비트를 할당하여 0101이 된다. 결국 각 계수마다 12비트로 변환하게 된다. 이렇게 하면 -799~799까지 표현 할 수 있으므로 충분히 모든 계수값을 처리할 수 있게 된다. 위의 과정에서 생성된 위터마크 시퀀스를 웨이브릿 계수 쌍의 대소 관계를 반전시키는 방법을 이용하여 삽입한다[4]. 이 방법은 대소 관계를 반전시키는 과정에서 이웃 계수 쌍의 평균과 차이를 구하여, 차이에 반비례하는 일정한 값을 평균에 더함으로써 시각적인 화질의 저하를 줄인다.

마지막으로 웨이브릿 역변환 함으로써 위터마크가 삽입된 영상을 얻게 된다.



<그림 2> 위터마크 삽입과정

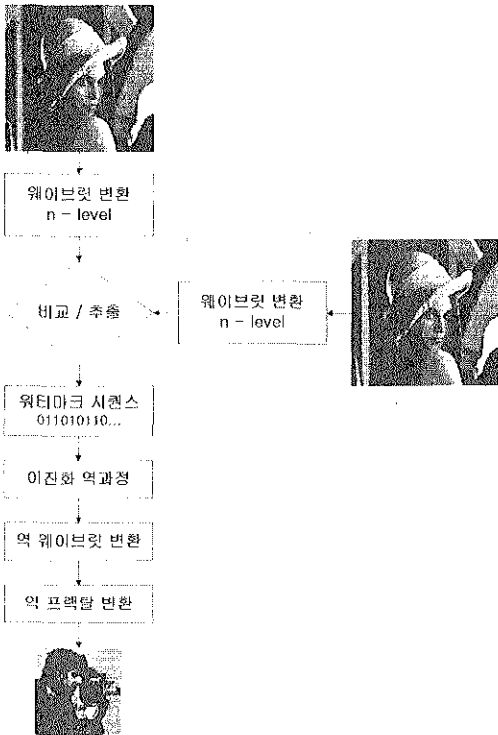
대략적인 삽입 과정은 다음과 같다.

1. 위터마크 이미지 프랙탈 변환 → 패턴 이미지 생성
2. 패턴 이미지 웨이브릿 변환
3. LL대역 계수를 취하여 이진화→위터마크 시퀀스 생성
4. 원래 이미지 웨이브릿 변환
5. 임계값에 의해 중간 대역의 계수 선택

- 6. 계수쌍 비교에 의한 삽입
- 7. 역 웨이브릿 변환

3.2 추출 방법

삽입과정의 역과정을 거치면 추출이 이뤄지게 된다.



<그림 3> 워터마크 추출과정

대략적인 추출과정은 다음과 같다.

1. 의심되는 영상과 원래 이미지를 비교하여 워터마크 시퀀스를 추출한다.
2. 워터마크 시퀀스를 이진화 할 때의 반대 과정을 적용하여 웨이브릿 계수를 복원한다.
3. 복원된 웨이브릿 계수를 역 웨이브릿 변환하여 패턴 이미지를 만든다.
4. 패턴 이미지를 역 프랙탈 변환하여 워터마크 이미지를 추출한다.

4. 실험결과 및 분석



(a) 삽입 이미지 (b) 추출 워터마크 이미지

<그림 3>워터마크 삽입 이미지/ 추출된 이미지 기준 워터마크와 추출된 워터마크사이의 유사성을 측정하기 위하여 아래식과 같은 NC(normalized correlation)을 사용하였다[4]. 웨이브릿 필터로는 Haar

필터를 사용한다.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j)w_e(i,j)}{\sum_i \sum_j [w(i,j)]^2}$$

JPEG 손실 압축



NC=0.89

10% 랜덤 잡음 첨가 영상

NC=0.85

<그림 4> 워터마크 영상에 대한 공격후 추출결과 이와같이 공격에도 비교적 강인함을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 웨이브릿 변환과 프랙탈 변환을 함께 적용하여 강인하고 효율적인 워터마킹 방법을 제안하였다. 종래의 방법과 같이 프랙탈 변환만을 이용할 경우에는 공격에 강인하다는 특징에 비하여 속도가 느리다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 상대적으로 크기가 적은 워터마크 이미지를 프랙탈 변환함으로써 변환에 걸리는 시간을 줄일 수 있다. 또한 웨이브릿 변환 영역에서 임계치에 의해 삽입에 이용할 계수를 선택적으로 사용함으로써 적절한 내역에 삽입하여 시각적인 왜곡을 최소화 할 수 있다.

향후 연구과제는 프랙탈과 웨이브릿을 결합한 프랙탈-웨이브릿 변환을 이용함으로써 더 효율적인 처리가 가능하도록 하는 것이다.

6. 참고문헌

- [1] Jacquin, A.E. "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations", Image Processing, IEEE Transactions on, Vol. 1 Issue.1, pp 18-30, Jan. 1992.
- [2] Kundur, D.; Hatzinakos, D., "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on, pp.2969-2972 vol.5, 1998.
- [3] Zhicheng Ni, Sung, E., Shi, Y.Q. "Enhancing robustness of digital watermarking against geometric attack based on fractal transform," Multimedia and Expo, 2000. ICME 2000. 2000 IEEE International Conference on, pp.1033-1036 vol.2, 2000.
- [4] K. hyun-soon, B. Sung-Ho, "Watermarking for digital images using differences and means of the neighboring wavelet coefficients," Proceedings of ITC-CSCC 2000, pp. 466-469, July 2000.