

# RST 변환에 강인한 이미지 워터마킹 방법

추 현 곤<sup>o</sup>, 임 삼, 김 회 율  
한양대학교 전자통신전파공학과

## Image Watermarking Robust to Rotation, Scale and Translation Distortion

Hyon-Gon Choo<sup>o</sup>, Sam Lim, Whoi-Yul Kim  
Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University  
E-mail : gon@vision.hanyang.ac.kr

### 요 약

오늘날, 디지털 워터마크에 대하여 기하학적 변환에 대한 강인성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 회전, 이동 및 크기변화에 강인한 워터마킹 방법을 제안한다. 영상의 푸리에 변환 계수를 이용하여 이동에 대한 강인한 속성을 가지도록 하며, 입력 마스크의 상호 관계가 회전, 크기 변화에 강인하도록 워터마크 마스크를 생성한 후 영상에 삽입한다. 삽입된 워터마크의 검출은 영상의 주파수 영역의 radial projection에 대한 워터마크 신호의 상관도를 이용하여 검출한다. 실험을 통하여 제안된 방법이 여러 가지 기하학적 변환에 강인함을 보여준다.

### 1. 서 론

급격하게 증가하는 멀티미디어 정보의 사용으로 인하여 워터마크의 중요성이 강조되고 있다. 워터마크가 가져야 할 속성으로 압축과 각종 필터링 등 여러 가지 신호처리에 대한 강인성이 요구된다. 그러나, 최근 약간의 기하학적인 변화를 통하여 워터마킹의 검출을 방지할 수 있음이 밝혀져, 워터마킹의 기하학적 변화에 대한 대응성이 요구되고 있다.[1][2] 원 영상을 이용이 가능한 경우에 있어서, 변환 정보를 추출하여, 주어진 영상(또는 워터마킹)의 역변환을 통해 삽입된 워터마크를 추출이 가능하다. 그러나 원 영상의 정보를 알지 못하는 블라인드 워터마킹의 경우, 이러한 방법적 접근이 불가능하다.

이 문제를 해결하기 위하여 Ching-Yung 등, 많은 사람들은 Fourier-Mellin 변환을 이용한 RST invariant 워터마킹 기법을 제시하였다.[3][4][5] Fourier-Mellin 변환을 통한

RST invariant space에서의 워터마킹은 그 자체로는 여러 기하학적 변환에 대처가 가능성을 보여준다. 그러나, Fourier-Mellin 변환을 이용하는 경우, 영상에 대한 Log-Polar 매핑으로 인하여, 원 영상에 상당한 영향을 미치며, 그 구현에 있어서도 어려움을 가지고 있다. Ching-Yung 은 Log-Polar 매핑(mapping) 과정에 있어서 sinc interpolation 을 이용하여 역변환 과정에서의 에러를 보정하고, 계산량을 줄이기 위해 Log-Polar 영역에서의 1 차원 프로젝션을 이용한 방법을 제시하였다.[3] 그러나 이 방법의 경우, sinc interpolation 은 단순한 에러에 대한 보정에 불과하며, 또한 워터마크를 삽입하기 위하여, 주어진 결과를 얻을 때 까지 삽입과정을 반복해야 하는 단점을 가진다.

본 논문에서는 주파수 영역에서의 RST 변환에 강인한 마스크 패치워크를 이용한 워터마킹 방법에 대하여 제시한다. 워터마크 정보의 삽입은 영상의 푸리에 도메인의 계수에 polar coordinates 에서 일정한 주기를 가지는 가우시안 마스크 패치를 이용한다. 첨가된 워터마크의 검출은 영상의 주파수 영역에서의 radial projection 과 워터마크 신호와의 correlation 을 이용하여 검출할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 논문의 2 장에서는 제안된 방법을 이용한 워터마크의 삽입과 검출 방법에 대하여 소개하며 3 장에는 제안된 방법에 대한 여러 실험결과가 제시되며 4 장에서 결론을 맺는다.

### 2. 워터마크의 삽입과 검출

이미지를  $i(x,y)$ 라 하며, 이 영상에 대한 푸리에 변환을  $F(x,y)$ 라고 할 때, 다음과 같은 성질이 성립한다.[6]

$$|F(x,y)| = |F(x-x_0, y-y_0)| \quad (1)$$

따라서 푸리에 변환을 통하여 주파수 영역에 삽입된 워터마크는 이동에 대하여 불변인 성질을 가지게 된다. Fourier-Mellin 변환의 경우, 이 특징을 회전과 크기 변화에 무관하도록 하기 위해 Log-polar 변환을 이용한다.

$$(x, y) \rightarrow \begin{cases} x = e^{\rho} \cos \theta \\ y = e^{\rho} \sin \theta \end{cases}, \text{with } \rho \in R \text{ and } \theta \in [0, 2\pi]$$

(2)

푸리에 도메인에서의 Log-Polar 변환을 통해 영상의 회전과 크기변화는 Cartesian 영역에서의 이동과 같이, invariant 한 성질을 가지게 된다. 그러나, 주지한 바처럼 디지털에서의 Log-Polar 변환은 원 영상의 정보에 대한 불가피한 왜곡을 가져오게 된다.

본 논문에서는 원 영상에 대한 직접적인 Log-Polar 변환을 이용하지 않고, 그림 1과 같이 Polar 좌표계로 표시된 주파수 영역에서 angular 방향으로 일정한 주기를 가지는 위치 정보를 이용하여 워터마크의 정보로 이용한다. angular 방향으로 일정한 주기 패턴을 가지는 점은 워터마크의 키 값에 따라 그 주기를 변화시키게 되며, 이 정보가 radial 방향으로 중복 삽입하도록 하여, 에너지의 분포가 방향성을 가지도록 한다. angular 방향의 주기 패턴은 영상의 회전에 의하여 angular 방향의 이동(shift)으로 나타나게 된다. 또한 radial 방향으로서는 에너지의 정보의 차이가 해당 주기위치에서 크게 차이가 나도록 함으로써 크기 변화로 인한 resolution의 차이로 인한 정보의 손실에 둔감하게 된다.

## 2.1 워터마크의 삽입

본 논문의 워터마크 삽입과정은 다음과 같다.

- 1) 주어진 워터마크의 키 값을 입력 받아 pseudo-random number 형태의 값을 생성한다. 이 pseudo-random number의 자리의 길이에 따라 마스크의 점의 개수를 정한다.
- 2) 그림 1과 같이 마스크 영상을 만든 후, 주기적인 위치를 가지는 점을 생성한 후, 워터마크의 값에 따라 자체 주기에 변화를 준다. 단 푸리에 변환의 특성을 고려하여 180도 대칭인 점을 고려를 해주며, 마크의 강인함과 주기적인 특성을 고려하여 90도 간격으로 반복되는 패턴으로 생성이 되도록 한다.
- 3) 이 점의 좌표를 다시 역 polar-mapping(또는 Log-Polar mapping)을 취하여 해당 좌표의 위치를 저장한다.
- 4) 워터마크를 삽입할 영상에 대하여 FFT를 취하여 크기(magnitude)만을 취한다.
- 5) 크기 영상에 대하여 3)에서 구한 좌표의 위치에 해

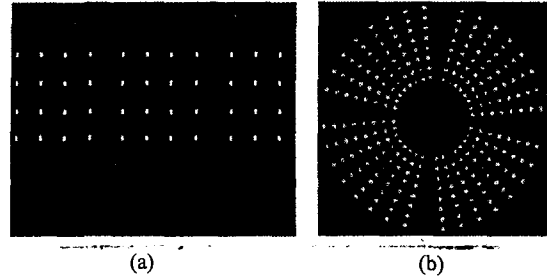


그림 1. 워터마크 위치 정보의 생성  
(a) Polar coordinates (b) Cartesian coordinate

당하는 위치에 가우시안 마스크를 이용하여 값을 해당 계수를 변화 시킨다. 이 때 DC 영역에 있어서는 영상의 왜곡을 고려하여 배제한다.

$$F'(x, y) = F(x, y)(1 + \alpha \cdot W(x, y)) \quad (4)$$

where  $\alpha$ : constant

- 6) 원 Phase 성분과 다시 합쳐 역 FFT를 취한다.

원 영상에 대한 직접적인 polar(또는 Log-Polar) 매핑(mapping)을 취하지 않음으로써, 영상에 대한 왜곡의 영향을 최소화 하는 반면에, 워터마크에 대한 정보는 polar coordinate에서 각 방향으로의 주기적인 정보를 가지고 있으므로, circular 한 방향의 변화에 대하여 덜 민감하게 된다.

## 2.2 워터마크의 검출

삽입된 워터마크를 검출하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 검출하기 위해 입력된 영상에 대하여 FFT를 하여, 크기(magnitude) 성분을 취한다. 각 크기(magnitude)성분의 값은 log 범위의 값을 사용한다.
- 2) 그림 2와 같이 주파수 계수의 값 중에서 주어진 경계치 이상의 값을 제거하여 DC 성분의 영향을 배제하여, 후보 성분의 값으로 분리한다.
- 3) 남겨진 주파수 성분들에 대하여 radial projection을 구한다. radial projection의 경우, 주어진 영상에 대하여 Polar(또는 Log-Polar)변환을 하여, radial 방향으로 1D Projection을 통해 얻을 수 있다. 구해진 1차원 radial projection 값에 대하여 주어진 워터마크 신호와의 correlation coefficient D를 이용하여, 유사도 값이 최대인 점을 찾고, 이 값이 경계치 T 이상이면 워터마크가 검출된 것으로 판단한다.

$$D = \frac{w \cdot v}{\sqrt{(w \cdot w)(v \cdot v)}} \quad (4)$$

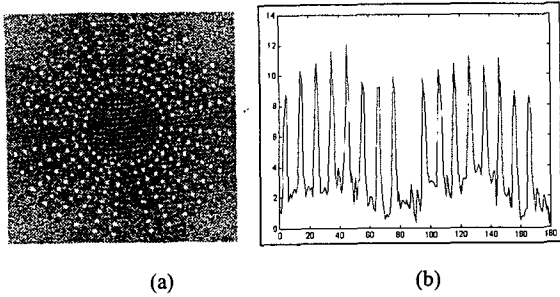


그림 2. 워터 마크 정보의 추출  
(a) DC 성분의 배제 (b) Radial Projection

주파수 영역에서의 radial 방향으로의 프로젝션을 통하여 각 방향 성분의 에너지의 합을 실제 추출 정보로 삼게 되면, 영상의 크기 변화에 있어서 강인함을 유지할 수 있다.

### 3. 실험 및 결과

제안된 방법에 대한 실험을 위하여 여러 표준 영상 (512X512)을 이용하여 실험하였다. Lenna 영상에 대하여 워터마크를 정보를 삽입한 결과를 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 워터마킹된 정보는 원영상에 대하여 사람에 의해 인지되지 않는 범위에서 주어진 패턴 정보에 대하여 삽입이 가능하였다. 512 영상 크기의 경우, 가우시안 마스크의 반경이 7 이상으로 한 경우에 대하여 검출 결과가 높게 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 또한 마스크 패턴들의 위치가  $1/4 \pi$  이내로 들어오는 경우에 영상의 왜곡이 심해짐을 알 수 있었다.



그림 3. 워터마크 삽입 결과: Lenna 이미지  
(상:원영상과 FFT의 magnitude  
하:워터마킹된 영상과 그의 FFT magnitude)

표 1. 실험에 사용된 왜곡의 종류

Distortion	Amount
Blurring(Gaussian Blurring)	radius = 1
Cropping	About 80%(390 X 390)
rotation	10°
Scale Up	10%
Scale Down	10%

주어진 기법에 대한 여러 가지 왜곡에 대한 실험은 표 1과 같이 이뤄졌다. Lenna 영상에 대한 각 왜곡을 가했을 경우, FFT 변환 계수에 포함된 워터마크의 정보 변화는 그림 4와 같이 나타난다. cropping의 경우 약 80%의 정보만을 가지고도 그림과 같이 대부분의 워터마크 정보 패턴이 살아 있음을 볼 수 있다. 그러나, blurring을 비롯한 그 외의 변환의 경우, 영상 자체의 흐려짐으로 인한 low pass 효과로 인하여 고주파 영역에 삽입된 정보 패턴의 손실로 나타난다. 이로 인하여 전체적인 성능을 떨어뜨리는 결과를 나타낸다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 검출 시에 radial projection의 범위를 중간 주파수 영역으로 제한을 두면, 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있었다

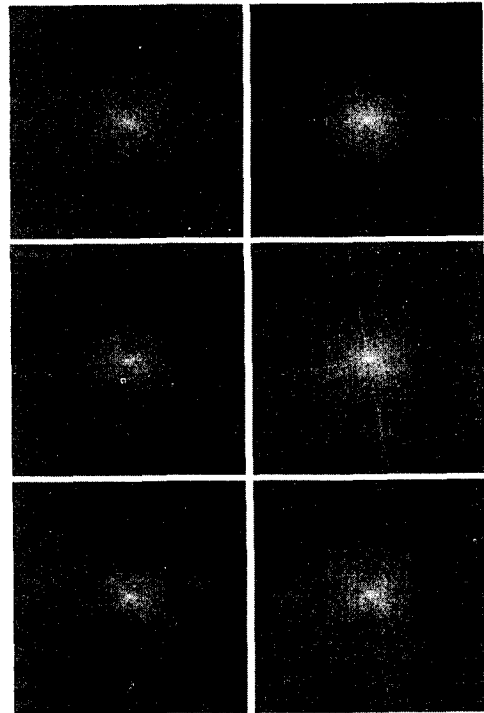


그림 4. 각종 변환에 따른 워터마크 정보 패턴의 변화  
(no-attack, blur, crop, rotation, scale up, scale down)

Lenna 영상을 비롯한 19 개의 표준영상(Pepper, Baboon 등)을 이용한 각 왜곡에 대하여 실험을 한 결과는 표 2와 같다. 표 2의 실험 결과는 제안된 방법을 이용하여, 여러 가지 기하학적인 왜곡에 강인한 워터마킹이 가능함을 보여준다.

표 2. 표준 영상에 대한 실험결과(19 개)

Distortion	Result(%)
No attack	100
Blurring(Gaussian Blurring)	94.2
Cropping	100
Rotation	89.5
Scale Up	100
Scale Down	100

#### 4. 결 론

본 논문에서 기하학적인 변환에 강인한 마스크의 패턴 정보를 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. polar coordinates 에서 angular 방향으로 주기적인 반복을 거쳐 영상의 회전에 대한 변환을 정보 패턴의 단순 이동으로 나타나게 되며, radial 방향으로 일정한 에너지 분포를 가지게 함으로써, 크기 변환에 대하여 강인함을 보이게 하였다. 또한 이 패턴 정보를 푸리에 변환의 크기 (magnitude)영역에 삽입하여 이동 변환에 강인한 속성을 유지할 수 있다. 여러 표준 영상에 대한 실험을 통하여 제안된 방법의 회전, 크기변화, 이동에 대한 강인성을 보여주었다.

추후 연구 과제로 기존에 다른 많은 기하학적 변환에 강인한 알고리즘과의 비교 검토를 통해 주어진 방법에 대한 워터마크의 효율성과 강인함을 높이며, 모자이크 등의 공격에 강인하도록 부분에 다중 워터마킹 기법에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] F.A.P. Petitcolas, R.J.Anderson, and M.G.Kuhn, "Attacks on copyright marking systems," in Proc. Workshop Information Hiding, Portland, OR, Apr.15-17, 1998
- [2] Unzign, <http://altern.org/watermark>
- [3] Lin C.Y., Wu, M.,Bloom, J.A.,Cox, I.J., Miller, M.L. and Lui, Y.M, "Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images," IEEE Trans. Image Processing, vol.10, no.5 , pp. 767 -p782, May 2001
- [4] J.J.K.O.'Ruanaidh and T.Pun, "Rotation, scale, and translation invariant spread spectrum digital image watermarking," Signal Process, vol.66, no.3, pp.303-317.
- [5] G.C.langelaar, Iwan S. and R.L.L, "Watermarking Digital Image and Video Data, A State-of-the-Art Overview," IEEE Signal Processing Magazine, pp.20-44, Sep. 2000
- [6] R.C. Gonzalez and Woodz, Digital Image Processing, Addison W. 1993
- [7] I.W.Agung and P.Sweeny, "Method for combating random geometric attack on image watermarking," Electornics Letters vol. 37 no. 7 pp.420-421, March 2001