

불변의 무게중심을 템플릿으로 이용한 대수-극 좌표계 영상 워터마킹 기법

(Log-Polar Image Watermarking based on Invariant Centroid as Template)

김 범 수 [†] 유 광 훈 ^{**} 김 우 섭 ^{**} 곽 동 민 ^{**}
(Bum-Soo Kim) (Kwang-Hoon You) (Woo-Seob Kim) (Dong-Min Kwak)

송 영 철 ^{***} 최 재 각 ^{****} 박 길 흠 ^{***}
(Young-Chul Song) (Jae-Gark Choi) (Kil-Houm Park)

요 약 디지털 영상에서 워터마킹이란 영상의 저작권 보호를 위한 방법이다. 이때 삽입되는 저작권 정보를 워터마크라 하고 이는 외부의 공격을 받더라도 쉽게 제거되지 않아야 한다. 그러나 대부분의 워터마킹 기법이 영상 압축, 필터링 등의 파형 공격(waveform attack) 에는 강인하나 회전, 크기 변화, 이동, 잘려짐(cropping) 등과 같은 기하학적 공격(geometrical attack) 에 쉽게 깨어지는 단점을 보인다. 본 논문에서는 기하학적 공격에 대한 해결책으로 영상에서 불변의 무게중심(invariant centroid) 을 구하고 이를 템플릿(template) 으로 이용한 대수-극 좌표계 변환과 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform: DCT) 을 사용하여 워터마크를 삽입하고 검출하는 방법을 제안한다. 워터마크가 첨가된 영상에 가해지는 기하학적 공격은 불변의 무게중심과 대수-극 좌표계를 이용한 방법으로 극복하고, 파형 공격은 DCT 변환을 이용하여 해결하였다. 또한 워터마크 정보만을 역 LPM 변환하여 원 영상에 삽입하는 간접 삽입 방법을 사용함으로써 좌표계 변환으로 인한 화질의 열화를 막을 수 있었다. 실험 결과 제안된 방법은 기존의 방법에서 삽입된 워터마크의 검출이 불가능한 잘림을 동반한 기하학적 공격 후에도 워터마크의 검출이 가능하였다.

키워드 : 워터마킹, 불변의 무게중심, 템플릿, 기하학적 공격

Abstract Digital image watermarking is the method that can protect the copyright of the image by embedding copyright information, which is called watermark. Watermarking must have robustness to intentional or unintentional data changing, called attack. The conventional watermarking schemes are robust to waveform attacks such as image compression, filtering etc. However, they are vulnerable to geometrical attacks such as rotation, scaling, translation, and cropping. Accordingly, this paper proposes new watermarking scheme that is robust to geometrical attacks by using invariant centroid. Invariant centroid is the gravity center of a central area in a gray scale image that remains unchanged even when the image is attacked by RST including cropping and proposed scheme uses invariant centroids of original and inverted image as the template. To make geometrically invariant domain, template and angle compensated Log-Polar Map(LPM) is used. Then Discrete Cosine Transform(DCT) is performed and the watermark is embedded into the DCT coefficients. Furthermore, to prevent a watermarked image from degrading due to interpolation during coordinate system conversion, only the image of the watermark signal is extracted and added to the original image. Experimental results show that the proposed scheme is especially robust to RST attacks including cropping.

Key words : watermarking, invariant centroid, template, geometrical attack

<p>[†] 정 회 원 : 상주대학교 전자전기공학부 교수 bskim@palgong.knu.ac.kr</p> <p>^{**} 비 회 원 : 경북대학교 전자공학과 tatanka99@palgong.knu.ac.kr kwooseob@palgong.knu.ac.kr imis@palgong.knu.ac.kr</p> <p>^{***} 비 회 원 : 경북대학교 전자전기공학부 교수</p>	<p>songyc03@ee.knu.ac.kr khpark@ee.knu.ac.kr</p> <p>^{****} 비 회 원 : 동의대학교 컴퓨터공학과 교수 cjg@dongeui.ac.kr</p> <p>논문접수 : 2002년 8월 16일 심사완료 : 2003년 3월 20일</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. 서론

최근의 컴퓨터 기술 발전으로 비디오와 오디오 등의 멀티미디어 콘텐츠(multimedia content)의 생성과 배포는 디지털화된 형태로 이루어진다. 디지털 데이터들은 아날로그 데이터에 비해서 보관이나 전송, 복사 등에서 여러 가지 장점을 지니고 있지만, 한편으로는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 그 중에서도 심각하게 대두되는 것은 불법적인 복제로 인한 저작권 문제이다. 예전에는 데이터의 저작권 보호를 위해 일부 소비자들만 접근할 수 있도록 암호화하여 전송하거나 제한된 사용자만 접속할 수 있도록 통신망에 보안을 강화하는 방법을 주로 연구하였다. 그러나 인터넷과 같은 네트워크 환경의 대중화로 인해서 불특정 다수에 대한 데이터의 공개가 일반화되는 환경에 맞추어 새로운 방법이 요구되었다. 즉, 디지털 저작물의 불법적인 사용을 막기 위한 방법으로서는 워터마킹 기법[1,2]이 제안되었다. 본 논문에서는 다양한 디지털 데이터 중 디지털 영상의 워터마킹 기법을 다룬다.

디지털 영상 워터마킹 기법은 저작권 증명을 위해서 원본의 영상에 부가적인 정보를 넣는 것이므로, 원본 영상의 입장에서는 일종의 잡음이나 영상의 왜곡으로 볼 수가 있다. 그러므로 워터마크는 원 영상의 변형을 최소화하고 잡음을 제거하는 작업에 의해서도 쉽게 지워지지 않는 강한 특성이 요구된다. 지금까지 연구된 워터마킹 기법은 영상의 화소 값을 직접적으로 변화시키는 공간 영역(spatial domain)의 방법[3-6]과 영상을 변환하여 주파수 영역에서 값을 변화시키는 주파수 영역(frequency domain)의 방법[7]으로 나눌 수 있다.

공간 영역의 방법은 수학적 모델링과 분석이 쉬워 초기의 영상 워터마킹 방법에서 많이 사용되었다. 이 중 가장 간단한 방법은 워터마크를 화소의 최하위 비트에 삽입하는 방법이다. 이는 영상의 화질에 손상이 거의 없이 추가적인 정보를 넣는 방법이지만, 잡음 첨가, 영상 압축, 필터링 등의 간단한 파형 공격에 쉽게 제거되는 단점을 가진다. 따라서 현재의 디지털 영상 워터마킹 기법에서는 주파수 영역으로 영상을 변환하여 변환 계수에 워터마크를 삽입하는 주파수 영역 워터마킹 기법을 주로 사용한다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법들은 영상을 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform: DCT)[8,9], 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform: DFT)[10,11]나 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT)[12-15]를 한 후에 적절한 중간 대역의 계수 값에 워터마크를 삽입하는

방법이다. 이러한 방법들은 공간 영역에서의 방법보다 파형 공격에 강한 성질[16]을 가진다. 그러나 이러한 주파수 영역의 워터마킹 기법은 파형 공격에는 강인하지만 영상의 동기(synchronization)를 깨뜨리는 기하학적 공격에는 역시 취약함을 보인다.

이를 극복하기 위한 방법으로 Shelby Pereira[17]와 Thierry Pun[18]가 템플릿을 이용한 워터마킹 기법(Template based Watermarking Method : TMW)을 제안하였다. TMW는 영상에 워터마크 이외에 템플릿을 삽입하여 워터마크의 검출 과정에서 워터마크의 존재 여부와 영상에 가해진 기하학적 왜곡을 복원하기 위한 정보[19]로 사용한다. 템플릿은 이차원 이산 푸리에 변환(2-dimensional Fourier Transform: 2-D DFT)의 크기 성분(magnitude)에 로컬 피크(local peak)로 삽입된다. 그러나 기하학적 왜곡을 바로잡기 위해 삽입되는 템플릿이 기하학적인 공격에 노출된 경우 쉽게 제거되는 문제점이 발생한다. 이는 이웃하는 계수들 간의 크기 차가 큰 2-D DFT 크기 성분에 로컬 피크로 템플릿으로 삽입함으로써 공격이 없을 시에도 로컬 피크를 찾기가 어려울 뿐만 아니라 이산 영상(discrete image)이 기하학적 변형을 거치는 경우 반드시 내삽 과정(interpolation)을 거쳐야 하므로 로컬 피크가 몽롱화(blurring)되는 현상을 피할 수 없기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 영상에 템플릿을 삽입하는 대신 영상 자체의 특징점으로 불변의 무게중심을 제안하며 이를 템플릿으로 이용한 워터마킹 기법을 제안한다. 본 논문에 사용된 템플릿은 원 영상에서 구해진 불변의 무게중심과 반전된 영상의 불변의 무게중심으로, 이 두 점은 영상의 현저한 왜곡이 없을 경우 일정한 위치를 나타내므로 이를 이용하여 대수-극 좌표(Log-Polar Map: LPM)로의 변환과 DCT 변환을 수행하여 기하학적 공격과 파형 공격에서 각각 강한 결과를 나타낼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 템플릿으로 사용되는 불변의 무게중심과 LPM 변환의 성질에 대해 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안된 워터마킹 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 보이고, 5장에서는 결과를 분석한다.

2. 템플릿으로 사용되는 불변의 무게중심과 LPM 변환

본 논문에서는 영상의 불변의 무게중심을 구하고 이를 템플릿으로 이용하여 두 단계의 과정을 거치는 워터

마킹 기법을 제안한다. 첫 번째 단계에서는 영상의 불변의 무게중심을 이용하여 직각 좌표계의 영상을 LPM으로 변환하는 과정으로 영상에 가해지는 기하학적 공격을 해결하고, 두 번째 단계에서는 LPM 영상을 DCT 변환하여 워터마크를 삽입하는 과정으로 파형 공격을 극복한다.

본 절에서는 첫 번째 단계로 영상에서 기하학적 왜곡을 바로잡기 위한 템플릿으로 사용되는 불변의 무게중심과 LPM 변환의 성질에 대해 살펴본다. 먼저 원 영상과 반전된 영상에서 각각의 불변의 무게중심을 구하고 이들을 템플릿으로 하여 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기법이 된다. 제안하는 방법은 템플릿으로 이용되는 두 점의 중간점을 LPM의 원점으로 하여 영상의 가운데 영역을 LPM으로 변환한다. 영상 내의 불변의 무게중심들은 파형 공격과 기하학적 공격에 변하지 않으므로 LPM의 원점으로 사용되는 무게중심들의 중간점도 항상 일정하게 나타난다. 따라서 워터마크가 삽입되는 LPM 영상은 이동에 불변인 성질을 가지게 되고, LPM의 성질에 의해 크기 변화에도 불변이 된다. 마지막으로 직각 좌표계에서 영상의 회전이 LPM 영상에서는 회전 이동으로 나타나며, 템플릿 정보를 이용하면 이동 정도를 알아 낼 수 있으므로 이를 이용하여 회전 이동을 바로 잡을 수 있다. 따라서 제안된 LPM 영상은 회전, 크기 변화, 이동에 불변인 영역(domain)이 된다.

2.1 템플릿으로 사용되는 불변의 무게중심

일반적으로 영상 $I(x, y)$ 의 무게중심 $C_0 = (C_{x0}, C_{y0})$ 은 아래의 식과 같이 구해진다.

$$C_{x0} = \frac{\sum_x \sum_y x f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)}, C_{y0} = \frac{\sum_x \sum_y y f(x, y)}{\sum_x \sum_y f(x, y)} \quad (1)$$

여기에서 $f(x, y) = I(x, y) / \sum_x \sum_y I(x, y)$ 이다. 식 (1)을 통해 영상의 무게중심은 영상내의 화소 좌표와 화소 값에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그러나 파형 공격에 의해 화소 값이 변하거나 잘려짐으로 인해 화소가 사라질 경우 원 영상의 무게중심과 같은 지점을 찾아낼 수 없게 된다. 그래서 제안하는 방법에서는 파형 공격의 영향을 줄이기 위해 영상의 초기 중심값 C_0 를 원 영상의 저대역 통과 영상으로부터 식 (1)을 통해 구하고 이를 중심으로 하고 반지름이 R 인 원 영역으로부터 다시 원 영역의 무게중심 C_1 을 구한다. C_1 은 다시 반지름 R 인 원의 중심점으로 사용되며 이를 통해 만들어진 영역으로부터 무게중심 C_2 를 구하게 된다. 이후 두 무게중심 C_2, C_1 이 같은 값을 가지는지 비교한다. 위와 같

은 과정을 원 영역의 무게중심이 수렴할 때까지 계속 반복하여 수렴된 점을 불변의 무게중심 C_f 라 한다. 이때, 영역의 모양은 반드시 원이어야 하며 이는 회전 공격을 받은 후에도 동일한 점을 찾아내기 위함이다. 이상의 과정으로 구해진 불변의 무게중심은 저대역 통과 필터와 전체 영상이 아닌 영상의 중심 부근영역을 이용하여 구해지므로 파형 공격과 잘려짐을 동반한 기하학적 공격에 모두 영향을 받지 않게 된다. 이상의 과정을 그림 1에 나타내었다.

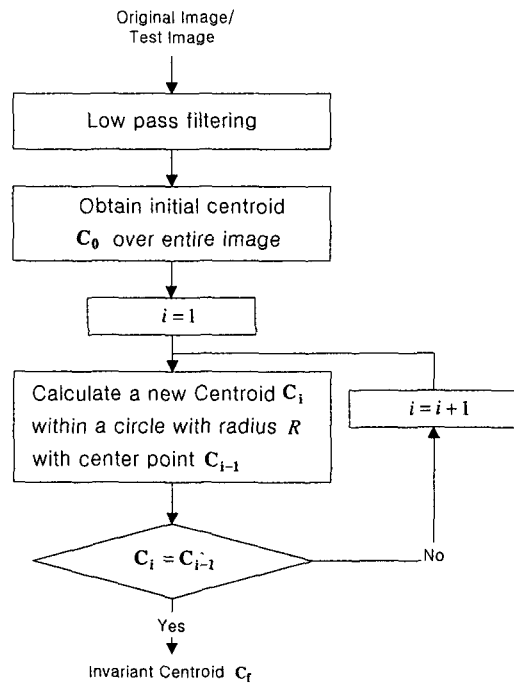


그림 1 불변의 무게중심을 구하는 방법

2.2 LPM 변환과 그 성질

LPM은 직각 좌표계 영상의 크기 변화에 무관하다는 성질과 직각 좌표계에서의 회전을 회전 이동(cyclic shift)으로 바꾸는 성질을 가진다. 직각 좌표계의 신호가 LPM으로 변환되면 원 신호의 공간 내 크기와 관계없이 LPM의 크기는 r 방향과 θ 방향의 표본 간격 (sampling step size) 인 N_r 과 N_θ 에 의해 결정되므로 원 영상의 크기 변화에 영향을 받지 않으며, 원 신호의 회전은 LPM에서 θ 방향의 회전 이동으로 나타나게 된다. 아래의 식 (2)는 직각 좌표계의 한 점 (x, y) 가 LPM의 한 점 (r, θ) 로 변환되는 식이다.

$$\begin{aligned} x-x_0 &= \exp(r\Delta_r)\cos(\theta\Delta_\theta) \\ y-y_0 &= \exp(r\Delta_r)\sin(\theta\Delta_\theta) \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서 (x_0, y_0) 는 LPM의 원점으로 사용될 직각 좌표계에서의 좌표, $r=0, 1, 2, \dots, N_r-1$, $\theta=0, 1, 2, \dots, N_\theta-1$ 이며, $\Delta_r = \ln(\text{max. distance from origin})/N_r-1$, $\Delta_\theta = 2\pi/N_\theta$ 는 r 과 θ 방향의 표본 간격을 나타낸다. 위와 같은 LPM의 성질을 그림 2에 예를 들어 나타내었으며 LPM의 성질을 시각적으로 좀 더 명확히 하기 위해 대수-극 좌표계가 아닌 지수-극 좌표계 변환(exponential-polar map)을 사용하였다. 그림 2의 (a)가 원 영상, (c)는 원 영상에 회전과 크기 변화 공격을 가한 영상이다. 여기에서 (a)와 (c)를 각각 LPM한 결과인 (b)와 (d)를 살펴보면 영상의 크기 변화에는 영향을 받지 않았으며 영상의 회전은 회전 이동으로 나타남을 알 수 있다.

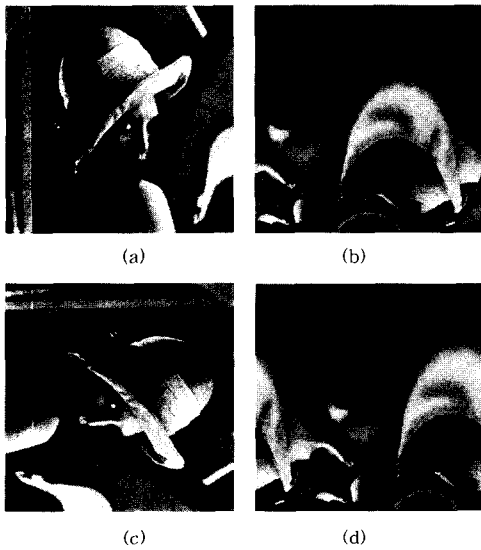


그림 2 LPM의 성질. (a) 원 영상, (b) (a)의 LPM, (c) 원 영상을 시계 방향으로 90° 회전 후, 크기를 75%한 영상, (d) (c)의 LPM

2.3 불변의 무게중심과 LPM변환을 이용한 기하학적 공격에 무관한 LPM 영상

본 논문에서는 앞에서 설명한 불변의 무게중심을 템플릿으로 이용하여 기하학적 변환에 무관한 LPM으로 영상을 변환하여 워터마크를 삽입한다. 이를 위해서는 적어도 두 개의 점이 필요하며 본 논문에서는 원 영상과 반전된 영상에서 각각 불변의 무게중심을 구하여 이

두 점을 템플릿으로 사용한다. 또한 직각 좌표계 영상을 LPM으로 변환시 가장 중요한 것이 LPM의 원점이다. LPM의 원점으로 사용될 직각 좌표계 상의 좌표가 일정하지 않으면 LPM 변환 시마다 전혀 다른 LPM 영상을 획득하게 된다. 따라서 제안하는 방법에서는 LPM의 원점으로 두 무게중심의 중간점을 사용한다. 두 무게중심은 파형 공격이나 기하학적 공격을 받더라도 변하지 않으므로 중간점 역시 변하지 않을 것이다. 따라서 LPM 영상도 동일하게 구해낼 수 있게 되며 이를 그림 3과 4에 나타내었다. 그림 3은 불변의 무게중심을 찾아 LPM의 원점을 설정한 과정을 나타낸다. (a)는 원 영상을 나타내고, (b)는 원 영상의 불변의 무게중심 $C_{fb}=(C_{fbx}, C_{fby})$ 와 반전된 영상의 불변의 무게중심 $C_{fa}=(C_{fax}, C_{fay})$ 를 나타낸다. (c)는 불변의 무게중심들로 구해진 중간점이 LPM의 원점으로 사용됨을 보인다. 그림 4는 불변의 무게중심들의 중간점으로 구해진 LPM의 원점이 기하학적

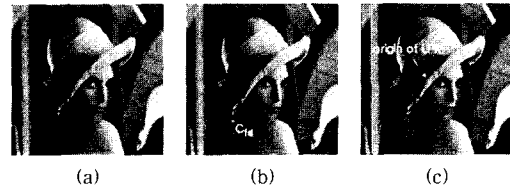


그림 3 (a) 원 영상 (b) 불변의 무게중심 (c) LPM의 원점

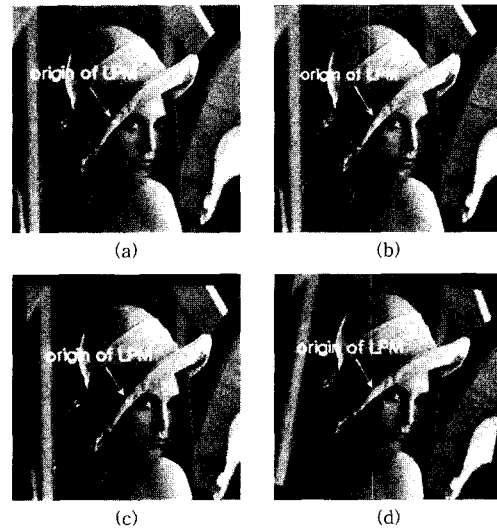


그림 4 (a) 원 영상, (b) 크기 변화된 영상, (c) 이동된 영상, (d) 회전된 영상

공격을 받더라도 상대적인 위치는 변화하지 않음을 나타낸다.

앞에 설명한 과정으로 인해 공격이 있더라도 동일한 형태의 LPM 영상을 구할 수 있었다. 그러나 영상에 회전 공격이 있다면 LPM에서는 회전 이동으로 나타나게 된다. 따라서, LPM에서 회전 이동되는 값을 보정(compensation) 해야 하며 그림 5는 이 과정을 보여준다. 그림 5의 (a)는 원 영상, (d)는 회전한 영상, 그리고 각각을 보정 없이 LPM 변환한 영상이 그림 5의 (b)와 (e)이다. 여기에서 LPM 변환 시 전체 영상을 사용하는 것이 아니라 원점으로부터 반지름 R 의 원 영역만을 LPM 하고, 점 s 에서 시계방향을 θ 방향으로 둔다. 이때 그림 5의 (d)와 같이 회전이 가해진 영상의 경우 원 영상과 LPM 변환된 영상이 회전 이동으로 나타나게 된다. 이를 보정하기 위해 불변의 무게중심을 연결한 직선에서 반전된 영상의 불변의 무게중심과 이루는 각 $\Delta\theta_m$ 을 식 (3)으로 구하여 회전 이동하면 회전한 양에 관계없이 동일한 LPM 영상 (c), (f)를 얻을 수 있다.

$$\Delta\theta_m = \frac{N_\theta}{2\pi} \times \tan^{-1} \frac{C_{fdy} - C_{fby}}{C_{fdx} - C_{fbx}} \quad (3)$$

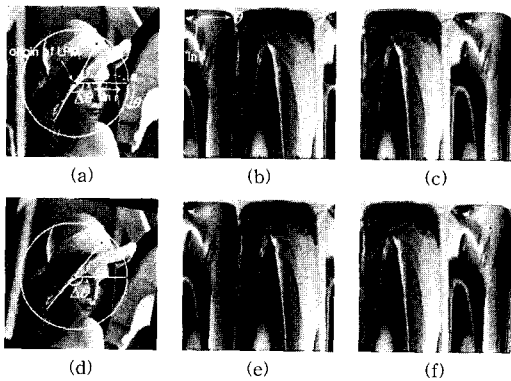


그림 5 (a) 원 영상, (b) (a)의 LPM 영상, (c) (a)의 보정된 LPM 영상, (d) 회전 공격을 받은 영상, (e) (d)의 LPM 영상, (f) (d)의 보정된 LPM 영상

3. 워터마크의 삽입과 검출

본 논문에서는 앞에서 설명한 불변의 무게중심을 템플릿으로 이용하여 기하학적 변환에 무관한 LPM 으로 영상을 변환한 후 이를 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환하고 변환된 주파수 계수에 워터마크를 삽입한다. 워터마크 검출 시에는 워터마크 삽입 시와 동일한

과정을 거쳐 저작권자의 키로부터 생성된 워터마크와의 유사도를 계산하고 문턱 값과의 비교를 통해 워터마크의 유무를 판단한다.

3.1 워터마크의 삽입

본 논문에서는 앞에서 설명한 LPM 영상을 DCT하여 그 주파수 계수에 워터마크를 삽입하며 그 과정은 그림 6과 같다. 원 영상의 불변의 무게중심 C_b 와 반전된 영상의 불변의 무게중심 C_{fd} 를 그림 1의 과정으로 구한다. 식 (2)를 사용하여 C_b 와 C_{fd} 의 중간점을 원점으로 하는 LPM으로 변환한다. 워터마크가 첨가된 영상의 회전 공격에 대비하여 C_b 와 C_{fd} 로 구해지는 직선에서 식 (3)을 이용하여 회전 이동할 각도 정보를 계산한다. 이 때, 구해지는 $\Delta\theta_m$ 만큼 영상을 회전 이동하여 기하학적인 공격에 무관한 LPM 영상으로 변환한다. LPM 영상 $LM(r, \theta)$ 가 구해지면 파형 공격에 강인하기 위하여 식 (4)를 이용하여 DCT 변환 후 워터마크를 삽입한다. 구해진 DCT 계수 $C(u, v)$ 를 지그재그 스캔 (zigzag scan) 하여 $M(z)$ 를 구한 후 워터마크의 삽입 위치 z_p 를 선택한다. 삽입 위치는 비가시성과 강인성을 만족할 수 있는 중간 주파수 대역[20]이 요구된다.

$$C(u, v) = a(u, v) \sum_{r=0}^{N_r-1} \sum_{\theta=0}^{N_\theta-1} LM(r, \theta) \cos \left[\frac{(2r+1)u\pi}{2N_r} \right] \cos \left[\frac{(2\theta+1)v\pi}{2N_\theta} \right] \quad (4)$$

$$\text{where } a(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{N} & \text{if } u=0, v=0 \\ \frac{\sqrt{2}}{N} & \text{if } u=0, v \neq 0 \text{ or } u \neq 0, v=0 \\ \frac{2}{N} & \text{if } u \neq 0, v \neq 0 \end{cases}$$

워터마크 w 는 -1 또는 1의 값을 가지는 $w(i)$ 를, 길이 L 의 이진 준-랜덤 (pseudo-random) 열로 사용하였다. 워터마크의 길이는 영상의 크기와 삽입 강도에 따라서 적절히 선택되어야 하고, 다른 키로 생성된 워터마크와의 상관관계 (correlation) 가 0에 근접해야 한다. 워터마크의 삽입은 식 (5)를 이용한다. 여기서, $i=0, 1, 2, \dots, L-1$ 이며 α 는 삽입 강도를 나타낸다.

$$M'(z_p + i) = M(z_p + i) + \alpha \times w(i) \times M(z_p + i) \quad (5)$$

그리고 제안된 방법에서는 워터마크가 첨가된 영상의 화질 열화를 막기 위해 워터마크를 주파수 영역에서 직접 삽입하지 않고 워터마크의 LPM 영상만을 역 LPM 과정을 거쳐 원 영상에 더하는 간접 삽입 방식을 사용한다. 이산 영상의 좌표계 변환에는 정보의 손실을 동반하는 내삽 과정을 반드시 거치게 된다. 이는 좌표계 변환만으로도 화질의 열화를 가져오므로 원 영상의 손실

을 없애고 워터마크 정보만 약간의 손실을 가지도록 하기 위함이다.

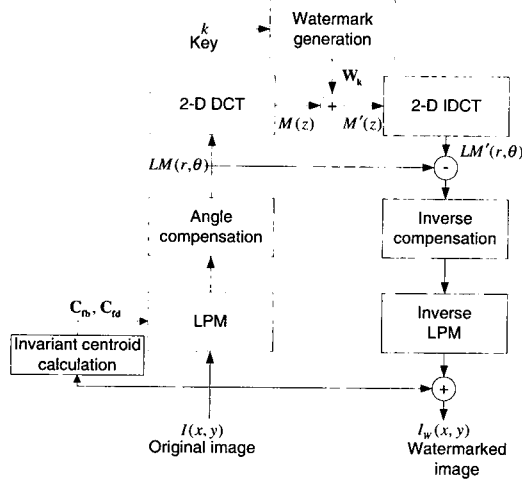


그림 6 워터마크 삽입 과정

3.2 워터마크의 검출

제안된 워터마킹 기법은 원 영상 없이[21-24] 워터마크의 존재 유무로써 저작권 정보를 판단한다. 그림 7은 워터마크 검출 과정을 나타낸다. 테스트 영상이 입력되면 워터마크 삽입 과정에서 마찬가지로 불변의 무게 중심을 구하고 이를 이용하여 LPM의 원점을 결정하고 LPM 영상으로 변환한다. 변환된 영상에서 2-D DCT를 하여 삽입 과정에서 사용된 대역 z_p 와 워터마크 길이 L , 키로써 워터마크가 삽입되어 있는 위치의 크기 성분 $M(z_p), M(z_p+1), \dots, M(z_p+L-1)$ 을 추출하여 식 (6)과 같이 유사도 (similarity) η 를 구하고 이를 문턱 값 T 와 비교하여 워터마크의 존재유무를 판단함으로써 저작권을 판단할 수 있다.

$$\eta = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} w(i)M(z_p+i) \quad (6)$$

4. 실험 결과

제안된 워터마킹 알고리즘 구현을 위한 실험 영상으로 256x256 크기의 Lena, girl, boat 영상을 사용하였으며 Barni[25]의 방법 영상 정규화에 기반한 워터마킹 방법(Image Normalization based Watermarking: INW)[26]과 그 성능을 비교하였다. 먼저 불변의 무게 중심을 구하는 반경 R 은 다음과 같이 결정된다. 영상의 경계 부분의 잘림의 영향을 적게 받기 위해서는 반경 R

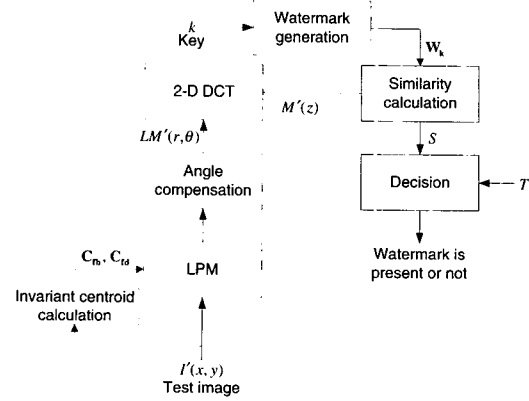


그림 7 워터마크 검출 과정

이 작을수록 좋으나 R 이 너무 작게 되면 로컬 미니마(local minima)나 맥시마(maxima)에 빠질 가능성이 있다. 따라서 R 은 영상의 구성을 어느 정도 반영할 수 있으면서 경계 부분의 잘림의 영향을 줄이기 위해 영상 크기의 1/4로 하였다. 또한 실험에서 LPM의 해상도가 높을수록 더 높은 해상도의 주파수 정보를 얻을 수 있으며 삽입할 수 있는 워터마크 정보량도 많아질 수 있으나, 높은 해상도는 역 LPM 과정에서 삽입된 워터마크 정보의 손실이 많아지게 된다. 또한 LPM의 해상도가 낮을수록 역 LPM과정에서 발생하는 워터마크 정보의 손실은 작아지지만, LPM 과정에서 원영상의 정보를 많이 손실하게 된다. 따라서 이 두 가지 조건을 고려하여 N_x, N_y 는 각각 512로 사용하였다. 그리고 워터마크는 길이 L 와 강도 α 는 워터마크의 강인성을 보장하기 위해서는 길고 강하게 삽입되어야 하며, 비가시성을 보장하기 위해서는 짧고 약하게 삽입하여야 한다. 따라서 워터마크의 삽입 후 영상의 비가시성을 만족시키면서 강인성을 보장하기 위해 L 과 α 는 각각 실험적으로 3000과 0.3으로 하였다. 또한 워터마크가 삽입되는 DCT 계수의 위치 z_p 도 역시 비가시성과 강인성을 고

표 1 불변의 무게 중심을 구하는데 사용되는 반복 회수 및 시간

영상	원영상		반전된 영상	
	반복 회수	계산 시간(초)	반복 회수	계산 시간(초)
Lena	28	0.56	36	0.72
girl	33	0.63	25	0.51
boat	30	0.60	27	0.54

려하여 7000을 사용하였다.

먼저 제안된 불변의 무게중심을 구하는데 사용되는 반복계산 회수 및 시간을 표 1에 나타내었다. 제안된 방법은 템플릿으로 사용되는 불변의 무게 중심을 구하는데 걸리는 시간이 실시간 처리가 가능할 정도로 짧은 시간 내에 구해짐을 알 수 있다.

그림 8은 실험에 사용된 원 영상과 워터마크된 영상을 보여준다. 실험에서 구해진 신호대 잡음비 (PSNR)는 각각 45.2dB, 49.3dB, 43.2dB로서 비가시성과 강인성 모두에서 만족할 수 있었다. 그림 9는 영상에 서로 다른 1000개의 키로 발생시킨 워터마크 중 500번째 워터마크를 삽입하고, 워터마크가 삽입된 영상과 1000개의 워터마크와의 유사도를 나타낸 것이다. 500번째 워터마크와의 유사도가 가장 높게 나타났으며 이를 통해 저작권 증명이 가능함을 알 수 있다. 그리고 다음의 삽입된 워터마크의 강인성 실험에서 사용될 문턱값 T의 결정은 그림 8에서 저작권자가 삽입한 워터마크와의 유사도와 다른 워터마크와의 유사도를 통해 3으로 결정하였다.

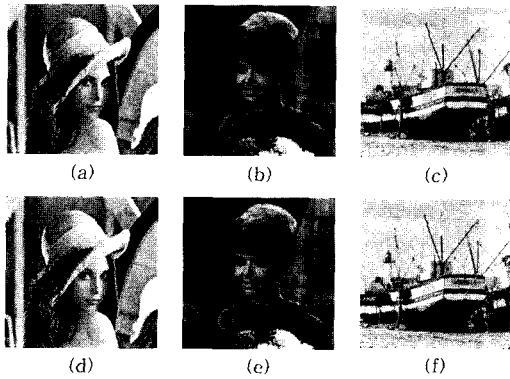
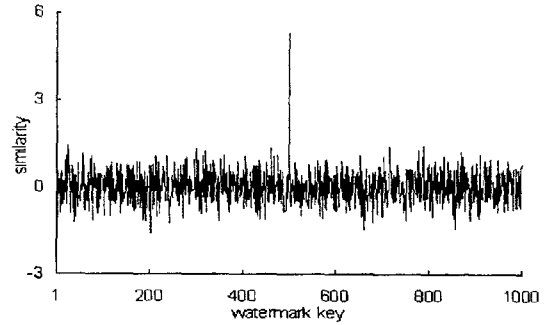


그림 8 (a), (b), & (c) 원 영상, (d), (e) & (f) (a), (b), & (c) 각각의 워터마크가 첨가된 영상

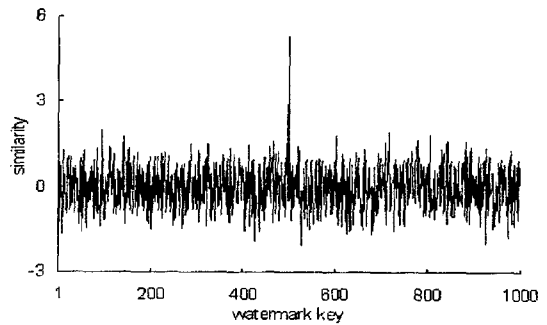
4.1 기하학적 공격에 대한 강인성

그림 10, 11, 13은 제안된 워터마킹 기법이 기하학적 공격에 강인함을 보여준다. 그림 10은 영상이 회전 공격을 받은 경우 워터마크와의 유사도를 보인다. 눈으로 식별이 힘든 작은 각의 회전 공격이 있더라도 워터마크의 검출이 어려운 것이 일반적이지만, 본 논문에서 제안한 방법은 실험 결과 문제점을 극복하였다.

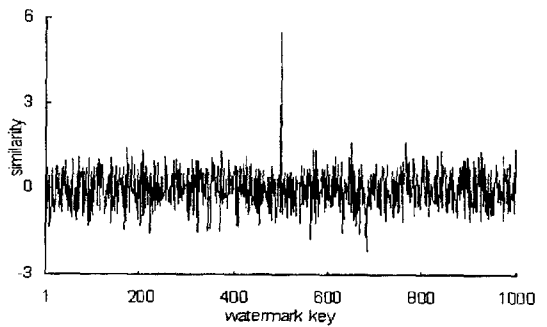
그림 11은 영상의 크기 변화에 따른 워터마크와의 유사도를 나타낸다. LPM 자체의 특성과 적절한 해상도의



(a) Lena



(b) girl



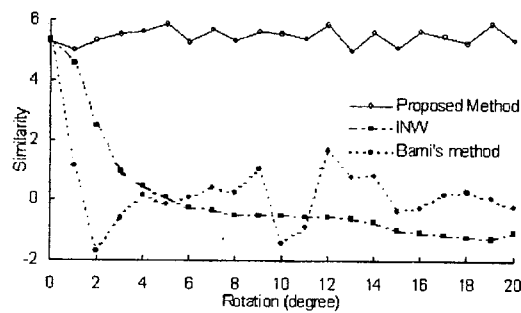
(c) boat

그림 9 서로 다른 1000개의 키로부터 발생된 워터마크와 500번째 워터마크가 삽입된 영상과의 유사도

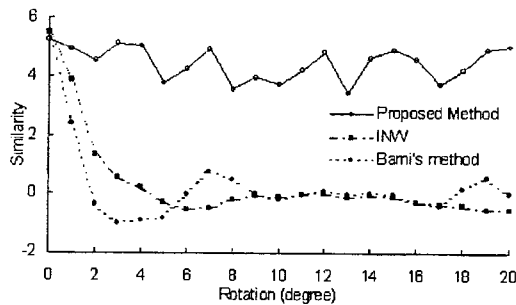
선택으로 공격의 효과를 완화할 수 있었다. 디지털 영상이 축소되는 경우는 정보의 손실이 불가피하다. 따라서 그림 12와 같이 LPM 영상이 뭉뚱화되어 워터마크의 검출이 어려워지지만, 50% 정도의 축소까지는 적절한 검출이 가능하였다.

그림 13은 잘려짐이 발생한 영상 이동의 경우에 계산되는 유사도를 나타낸다. 영상이 이동되더라도 영상의 불변의 무게중심은 영향을 받지 않으므로 워터마크의

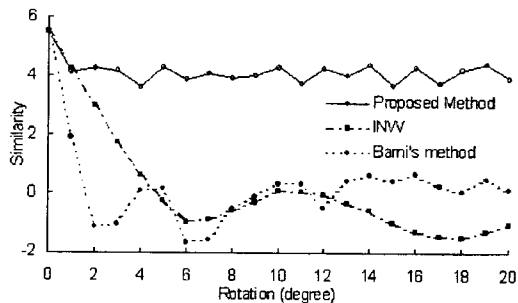
검출이 용이하다. 그리고 워터마크가 삽입된 영역이 삭제되지 않는다면 워터마크의 검출이 가능하다. 워터마크가 삽입된 영역에서 잘려짐이 발생했을 때에는 유사도가 큰 폭으로 줄어들게 되는데, 그 이유는 LPM에서 사용되는 원점은 같지만 잘려진 부분에 의해서 특정 각도에서 구해지는 r 방향의 정보가 달라지기 때문이다. 즉, 2-D DCT 변환에 사용되는 영상의 차이가 커지기 때문에 정확한 검출이 어려워지게 된다.



(a) Lena

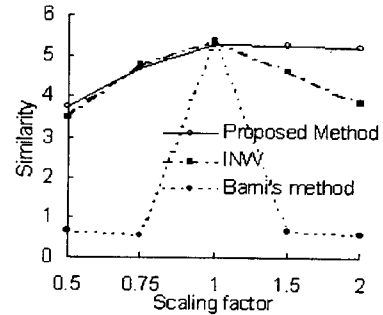


(b) girl

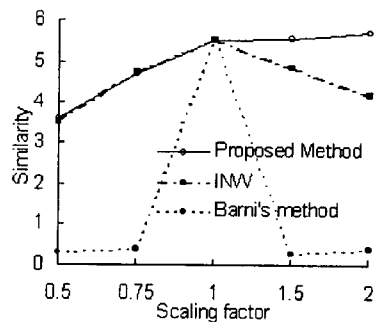


(c) boat

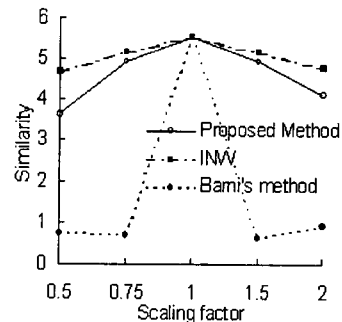
그림 10 잘림을 동반한 회전 공격 후의 유사도



(a) Lena

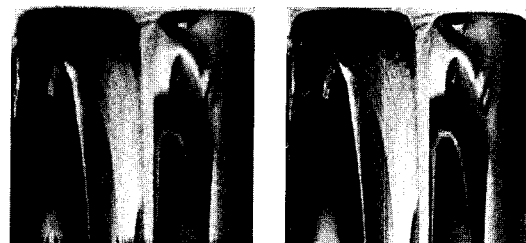


(b) girl



(c) boat

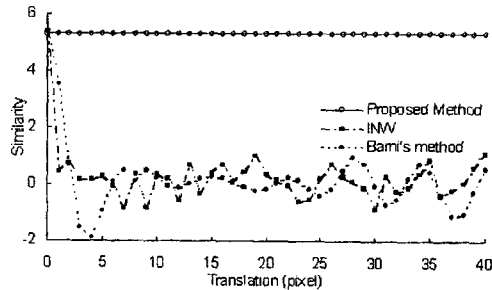
그림 11 크기 변환 공격 후의 유사도



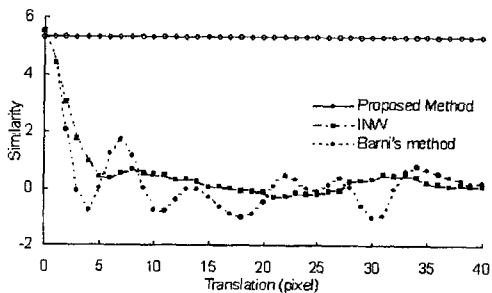
(a)

(b)

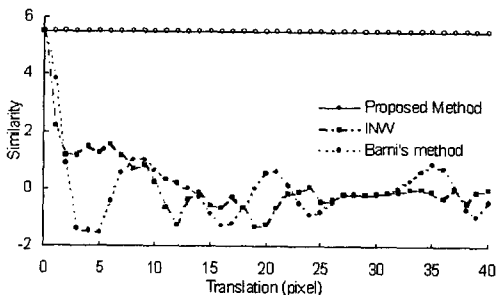
그림 12 (a) 128x128 영상의 LPM, (b) 512x512 영상의 LPM



(a) Lena



(b) girl



(c) boat

그림 13 잘림을 동반한 천이 공격 후의 유사도

4.2 파형 공격 및 복합 공격에 대한 강인성

그림 14와 표 2는 파형 공격과 복합 공격에 대한 제안된 방법의 강인성을 나타낸다. 그림 14는 Lena 영상에서 JPEG 압축률에 따른 유사도의 변화를 나타내며

Barni의 방법과 유사한 성능을 보였다. 표 2는 평균값 필터(average filter), 중간값 필터(median filter), 샤프닝

필터(sharpening filter) 처리, 회전과 크기 변화 공격, 이동과 크기 변화 공격, 회전과 JPEG 압축 공격 후 유사도를 측정하는 것이다. 실험 결과에서 보듯이 제안된 방법은 여러 가지 필터 통과 후뿐만 아니라 복합적인 공격이 가해진 후에도 워터마크의 검출이 가능하였다.

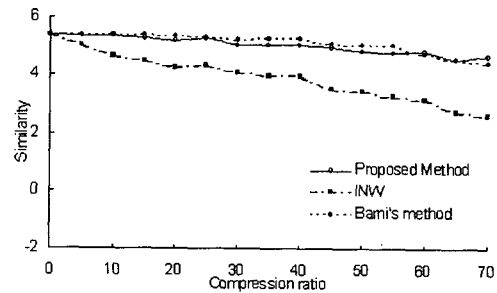


그림 14 Lena 영상에서 JPEG 압축 후의 유사도

5. 결론

본 논문에서는 템플릿을 이용한 워터마킹 기법들의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 원 영상과 반전된 영상에서 불변의 무계중심을 찾아 이를 템플릿으로 사용하였다. 템플릿으로 LPM의 원점을 구함으로써 이동에 무관하고 크기 변화에 불변이며 각도 보정으로 인해 회전에도 불변인 LPM 영상을 만들어 이 영상의 DCT 계수에 저작권자의 키로부터 만들어진 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격과 파형 공격에 강인하게 되었다. 제안된 방법은 영상에 템플릿을 삽입하는 것이 아니라 영상 자체의 특징점을 찾아 이를 템플릿으로 사용함으로써 기존의 TMW의 문제점을 극복하였고, 워터마크를 주파수 영역에서 직접 삽입하지 않고 워터마크 정보를 추출하여 이를 원 영상에 더하는 간접 삽입방식을 사용함으로써 좌표계 변환으로 인해 발생하는 화질 열화를 막을 수 있었다. 또한 제안된 방법은 DCT뿐만 아니라 다른 주파수 영역 변환도 사용될 수 있으므로 향후 연구에서 각 변환에 따른

표 2 여러 가지 필터 통과 및 복합 공격 후의 유사도

영상	원영상	유사도					
		평균값 필터 통과 후	중간값 필터 통과 후	샤프닝 필터 통과 후	20도 회전 + 크기요소 2	20화소 이동 + 크기요소 0.5	20도 회전 + JPEG 압축(압축률 50)
Lena	5.31	3.75	4.02	3.35	4.25	3.55	4.36
girl	5.30	3.69	3.95	3.36	4.19	3.49	4.27
boat	5.51	3.94	4.25	3.55	4.30	3.66	4.56

성능 평가와 불변의 무게중심을 구하는데 사용되는 반지름 R 의 적응적 결정에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] C. I. Podilchuk and E. J. Delp, "Digital watermarking : algorithms and applications," IEEE Signal Processing Magazine, vol.18, pp.33-46, 2001.
- [2] A. Tirkel, G. Rankin, R. van Schyndel, W. Ho, N. Mee, and C. Osborne, "Electronic watermark," Proceedings of DICTA, pp.666-672, 1993.
- [3] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," Proceedings of ICIP, vol. 2, pp. 86-89, 1994.
- [4] J. R. Hernandez, F. Perez-Gonzalez, J. M. Rodriguez, and G. Nieto, "Performance analysis of a 2-D multipulse amplitude modulation scheme for data hiding and watermarking still images," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 4, pp. 510-524, 1998.
- [5] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation," Journal of Electronic Imaging, vol. 7, no. 2, pp. 326-332, 1998.
- [6] I. Pitas, "A method for watermark casting on digital images," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 6, pp. 775-780, 1998.
- [7] J. R. Hernandez Martin and M. Kutter, "Information retrieval in digital watermarking," IEEE Communications Magazine, vol. 39, pp. 110-116, 2001.
- [8] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [9] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," Signal processing, vol. 66, pp. 357-372, 1998.
- [10] J. J. K. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "Phase watermarking of digital images," Proceedings of ICIP, vol. 3, pp. 239-242, 1996.
- [11] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Hammon, "A secure, robust watermark for multimedia," Proceedings of Workshop on Information Hiding, vol. 1, pp. 244-250, 1992.
- [12] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, 1998.
- [13] H. Wang and C. C. J. Kuo, "An integrated progressive image coding and watermarking system," Proceedings of ICASSP, vol. 6, pp. 3721-3723, 1998.
- [14] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-based function," Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 544-547, 1997.
- [15] M. Barni, F. Bartolini, V. Capellini, A. Lippi, and A. Piva, "A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures," Proceedings of SPIE, vol. 3657, Electronic Imaging, 1999.
- [16] J. J. K. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 536-539, 1997.
- [17] S. Pereira, J. J. K. O'Ruanaidh, and F. Deguillaume, "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps," Proceedings of ICMCS, vol. 1, pp. 870-874, 1999.
- [18] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 6, 2000.
- [19] R. Caldelli, M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Geometric-invariant robust watermarking through constellation matching in the frequency domain," Proceedings of ICIP, vol. 2, pp. 65-68, 2000.
- [20] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "Perceptual watermarks for digital images and video," Proceedings of The IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1108-1126, 1999.
- [21] J. R. Hernandez and F. Perez-Gonzalez, "Statistical Analysis of Watermarking Scheme for copyright protection of images," Proceedings of The IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1142-1166, 1999.
- [22] J. Huang, and Y. Q. Shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking," Electronic Letters, vol. 34, no. 8, pp. 748-750, 1998.
- [23] C-T. Hsu, and J-L. Wu, "Hidden digital watermark in images," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, 1999.
- [24] S. Burgett, E. Koch, and J. Zhao, "Copyright labeling of digitized image data," IEEE Communication Magazine, vol. 36, pp. 94-100, 1998.
- [25] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proceedings of ICIP, vol. 1, pp. 520-523, 1997.
- [26] M. Alghoniemy and A. H. Tewfik, "Geometric distortion correction through image normalization," Proceedings of ICME, vol. 3, pp. 1291-1294, Jul. 2000.



김 범 수

1972년 1월 16일생. 1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 2003년 3월~현재 상주대학교 전자전기공학부 강사. 관심 분야는 영상 내용기반 검색, 영상 분할, 영상 워터마킹 등



유 광 훈

2001년 경북대학교 전자전기 공학부(공학사). 2001년~현재 경북대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리 및 압축, 영상인식, 디지털 워터마킹



김 우 섭

2001년 경북대학교 전자전기 공학부(공학사). 2001년~현재 경북대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리, 컴퓨터 비전, 영상인식, 디지털 워터마킹



곽 동 민

1972년 2월 9일생. 1997년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정. 관심분야는 영상 내용기반 검색, 영상 분할, 영상 워터마킹 등



송 영 철

1969년 2월 4일생. 2001년 8월 광운대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 2002년~현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수. 관심분야는 의료 영상처리, 지문 인식, 워터마킹 등



최 재 각

1961년 5월 9일생. 1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1987년 2월~1998년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원. 1998년 3월~2001년 8월 경일대학교 제어계측공학과 조교수. 2001년 9월~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 조교수. 관심분야는 영상처리, 영상 및 멀티미디어 통신, 워터마킹 등



박 길 흠

1982년 경북대학교(공학사-전자공학) 1984년 한국과학기술원(공학석사-전자공학) 1990년 한국과학기술원(공학박사-전자공학). 1991년~현재 경북대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 의료 영상 인식, 초음파 영상 검색, 영상 압축, 지문 인식, 얼굴 영상 인식, 디지털 워터마킹