

대수-극 좌표계 변환과 푸리에 변환에 기반한 기하학적 공격에 강인한 워터마킹

준회원 김 범 수*, 정회원 최 재 각**, 학생회원 유 광 훈*, 김 우 섭*,
정회원 고 창 림***, 최 종 욱****, 박 길 흠*

Robust Digital Image Watermarking to Geometrical Attacks based on LPM and 2-D DFT

Bum-Soo Kim* *associated member*, Jae-Gark Choi** *regular member*,

Kwang-Hoon You*, Woo-Seob Kim* *student members*,

Chang-Rim Koh***, Jong-Uk Choi****, Kil-Houm Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 대수-극 좌표계 변환(log-polar map : LPM)과 이차원 푸리에 변환(2-dimensional Fourier transform : 2-D DFT)에 기반하여 영상을 회전, 크기 변화, 이동에 무관한 영역으로 변환하여 이 영역에 저작권 정보인 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법을 제안한다. 제안된 방법은 크기 변화에 무관한 영역을 만들기 위해 공간영역에서 LPM을 수행한다. 이 영역은 LPM의 원점으로 불변의 무게중심을 사용함으로써 이동에도 무관한 성질을 갖게 된다. 또한 LPM은 공간 영역에서의 회전을 순환천이로 변환시키는 성질을 가지므로 회전에 무관한 영역으로 변환하기 위해 LPM 영상을 2-D DFT한다. 2-D DFT는 그 성질에 의해 영상의 이동이 그 크기 성분에 영향을 미치지 않으므로 이동에 무관한 영역을 얻어낼 수 있다. 이상의 결과로 2-D DFT의 크기 성분이 기하학적 공격에 무관한 영역이 되며 이 영역에 저작권 정보인 워터마크를 삽입함으로써 워터마크가 제안하는 방법이 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법이 된다. 또한, LPM에서 워터마크 영상만을 추출하고 이 영상만을 역 변환하여 원 영상에 더하는 간접 삽입 방법을 사용함으로써 좌표계 변환으로 인한 화질의 열화를 막을 수 있다.

ABSTRACT

A digital image watermark is an invisible mark embedded in an image that can be used for copyright protection. This paper proposes a digital image watermarking scheme, which is robust to geometric attacks with cropping, based on the combination of a log-polar map (LPM) using invariant centroid and two-dimensional Fourier transform (2-D DFT). The proposed method uses LPM in the spatial domain for scaling invariance, while translation invariance is provided by the use of an invariant centroid as the origin of LPM, as it is unaffected by geometrical attacks with cropping and waveform attacks. However, since LPM includes the property whereby rotation is transformed into a cyclic shift, 2-D DFT is performed on the LPM image and the magnitude spectrum extracted to provide a domain that is rotation invariant. The resulting domain, which is invariant to rotation, scaling, and translation, is then used as the watermark-embedding domain. To prevent the watermarked image from degrading due to the coordinate system conversion, only LPM image of watermark signal is inverse mapped to Cartesian coordinates and add to the original image. Experimental results demonstrate that the proposed scheme is robust to geometrical attacks with cropping and waveform attacks.

* 경북대학교 전자공학과 영상신호처리 연구실(bskim@palgong.knu.ac.kr),
*** 경일대학교 전자정보공학과,
논문번호 : 020169-0418, 접수일자 : 2002년 4월 18일

** 동의대학교 컴퓨터공학과,
**** (주)마크애니

I. 서론

지난 10여년 동안 디지털 멀티미디어 데이터의 사용은 폭발적인 증가를 보여왔다. 인터넷 등의 통신망과 연결된 개인용 컴퓨터는 디지털 데이터를 훨씬 쉽고 빠르게 확산시킬 수 있는 환경을 제공하였다. 그러나 이는 저작권 침해라는 심각한 부작용을 가져왔으며 이로 인해 디지털 데이터의 저작권 보호라는 새로운 영역을 만들어 내게 되었다^{1,2)}. 디지털 데이터의 저작권 보호를 위해 암호화와 워터마킹이라는 두 가지 방법이 개발되었다. 암호화는 송신측에서 수신측에 디지털 데이터를 전송하는 동안 디지털 데이터를 보호할 수 있으나 수신측에서 데이터를 수신완료 후 암호를 풀게 되면 이는 원본과 동일한 데이터가 되고 더 이상 저작권이 보호되지 못한다. 워터마킹은 보이지 않는 신호, 즉 워터마크를 원 데이터에 삽입하며 삽입된 데이터가 항상 존재하도록 하여 암호화를 보완할 수 있는 방법이다.

효과적인 디지털 영상 워터마킹 방법이 되기 위해서는 기본적으로 요구되는 조건이 있다. 이 조건 중 가장 중요한 것이 견고성과 비가시성이다. 견고성이란 삽입된 워터마크가 고의적, 비고의적인 데이터의 변환으로 인해 제거되지 않아야 한다는 것이다. 이러한 데이터의 변환에는 JPEG과 같은 손실 압축, 필터링, 잡음첨가 등이 있으며 워터마킹에서는 파형공격(waveform attack)이라 한다. 한편, 견고성은 원 데이터의 대량 수정으로 보장될 수 있으나 대량 수정은 눈에 띄게 될 것이며 비가시성이라는 요구조건을 만족시키지 못하게 된다. 그래서 워터마킹 방법은 이 두 가지 요구조건을 만족시킬 수 있는 이율 배반성(trade-off)을 해결해야 한다.

디지털 영상 워터마킹 방법도 역시 위의 조건을 만족해야 하며 이는 삽입영역에 따라 공간 영역 워터마킹 (spatial domain watermarking)^{3,4)}과 주파수 영역 워터마킹 (frequency domain watermarking)⁵⁻¹⁵⁾으로 나눌 수 있다. 공간영역 워터마킹의 경우 수학적인 모델링이나 분석이 용이한 장점이 있어 초기의 연구에서 사용되었으나 잡음 첨가와 같은 간단한 신호처리에 의해 쉽게 삭제되는 단점을 가지게 된다. 그래서 현재의 워터마킹 방법에서는 영상을 주파수 영역으로 변환하여 그 변환 계수(transform coefficients)에 워터마크 신호를 삽입하는 주파수 영역 워터마킹 방법을 사용하고 있다. 이

러한 방법들은 이산 푸리에 변환(DFT:Discrete Fourier Transform)^{6,7)}, 전 영상에 대한 이산 역현 변환(DCT:Discrete Cosine Transform)^{8,9)}, 블록 단위에 대한 이산 역현 변환¹⁰⁻¹²⁾, 이산 웨이블릿 변환(DWT:Discrete Wavelet Transform)¹³⁻¹⁵⁾, 프랙탈 변환(fractal transform)¹⁶⁾등을 이용하며 공간 영역 워터마킹 방법들에 비해 견고성과 비가시성 및 안정성에서 우수하다고 알려져 있다⁸⁾.

앞에서 언급한 주파수 영역 워터마킹 방법들이 파형 공격에는 견고한 성질을 나타내지만, 회전, 크기 변화, 이동, 잘려짐 등의 기하학적 공격(geometrical attack)에는 매우 취약한 것으로 알려져 있다. 이를 해결하기 위해서 현재까지 푸리에-멜린 변환에 기반한 방법 (FMW: Fourier-Mellin transform based Watermarking)^{16,17)}, 템플릿 정합을 이용한 방법 (TMW: Template Matching based Watermarking)^{5,18)}, 영상 정규화를 이용한 방법 (INW: Image Normalization based Watermarking)¹⁹⁾의 세 가지 워터마킹 방법이 소개되었다.

FMW은 2-D DFT와 LPM 을 조합하여 이론적으로 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법이며 그 방법은 다음과 같다. 먼저 영상을 2-D DFT하여 그 크기 성분을 취함으로써 이동에 무관한 영역(domain) 을 찾아낸다. 다음으로 크기 성분을 LPM으로 변환하여 크기 변화에 무관한 영역으로 만들고 영상의 회전을 순환 천이(cyclic shift)로 바꾼 후 이를 다시 2-D DFT를 수행하면 그 크기 성분은 회전, 크기 변화, 이동에 무관한 영역이 되며 여기에 워터마크를 삽입하는 방법이다. TMW는 영상에 워터마크와 함께 영상의 기하학적 왜곡을 바로 잡기 위한 부가적인 정보인 템플릿을 2-D DFT 크기 성분에 로컬 피크(local peak)로 삽입하는 방법이다. 워터마크 검출 과정은 먼저 템플릿을 찾아 영상의 기하학적 왜곡을 바로 잡은 후 왜곡이 제거된 영상에서 워터마크를 검출해 내게 된다. 마지막으로 INW는 영상의 모멘트(moment)를 이용하여 원 영상을 정규화된 영상(normalized image)으로 변환하여 여기에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 영상의 모멘트는 영상의 기하학적 왜곡에 의해 변하지 않으므로 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법이 될 수 있다.

그러나 앞에서 언급한 세가지 방법 모두 해결해야 할 문제점을 가지고 있다. 먼저 TMW 방법의 경우 워터마크 이외의 정보를 부가적으로 삽입해야 하므로 삽입되는 정보의 양이 늘어나게 된다. 이는

비가시성이라는 워터마크의 요구 조건을 다시 한번 고려해야 하는 문제점을 안고 있으며, 공격에 의해 템플릿이 사라지는 경우 워터마크 정보가 남아 있더라도 워터마크를 검출해 내지 못한다는 단점이 있다. FMW는 두 번의 2-D DFT를 거쳐야 하므로 계산량이 많고 두 번째 2-D DFT의 크기 성분에 워터마크를 삽입함으로써 원 영상의 어떤 주파수 대역에 워터마크가 삽입되는지 알지 못하게 되는 문제점을 가진다. 또한, 이웃하는 계수들간의 차이가 큰 2-D DFT의 크기 성분에 대해 내삽과정(interpolation)을 필요로 하는 LPM과 역 LPM을 사용함으로써 구현이 어렵다^[20]. 이로 인해 실제로는 참고 문헌 [16]에서와 같이 TMW를 바탕으로 하여 구현하게 된다. 그러나 이 역시 앞에서 언급한 TMW가 가지는 문제점을 여전히 가지게 된다. INW의 경우, 영상의 모멘트는 영상의 화소값과 좌표에 의해 결정되므로 공격에 의해 영상의 화소 값이 변하거나 화소 자체가 사라지는 경우, 즉 잘려짐 공격을 받게 되면 영상의 모멘트가 달라져 원 영상의 정규화된 영상과 동일한 영상을 얻어 낼 수 없게 되며 이 경우 워터마크를 검출해 내는 것이 불가능하다. 또한 FMW와 TMW도 잘려짐 공격까지 고려하고 있지는 못하다.

따라서 본 논문에서는 쉽게 구현이 가능하며 기하학적 공격과 파형공격에 강인한 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 LPM과 2-D DFT의 조합을 이용하여 영상을 기하학적 공격에 강인한 영역으로 변환한 후 이 영역에 워터마크를 삽입한다. 그러나 제안하는 방법은 FMW와 달리 이웃들간의 크기가 비슷한 공간영역에서 LPM을 수행하여 내삽으로 인한 구현상의 어려움을 해결하였으며 2-D DFT를 한번만 수행함으로써 계산량을 줄일 수 있다. 공간 영역에서 LPM 시 그 성질에 의해 크기 변화에 무관하게 되며, 또한 원점이 변하지 않는다면 LPM은 이동에 무관하게 된다. 이를 위해 본 논문에서는 불변의 무게중심(invariant centroid)을 제안한다. 불변의 무게중심은 저대역 통과된 영상의 일부분만을 이용하여 구해짐으로 잘려짐을 비롯한 다양한 공격에 대해서 변하지 않는 성질을 가진다. 부가적으로 LPM은 영상의 회전을 순환 천이로 바꾸는 성질도 가진다. 순환 천이, 즉 공간 영역에서의 회전을 해결하기 위해 LPM된 영상을 2-D DFT 하여 그 크기 성분을 워터마크 삽입 영역으로 사용한다. 이상의 결과로 제안하는 워터마킹 방법은 잘려짐을 동반한 기하학적 공격에 강인하며, 또한

한번의 2-D DFT만을 사용하므로 시각적으로 중요한 대역에 워터마크를 삽입할 수 있으므로 파형공격에도 강인할 수 있다. 마지막으로 이웃 화소들 간의 값이 비슷한 공간영역에서 LPM을 수행하더라도 내삽으로 인한 화질의 열화는 발생한다. 제안하는 방법에서는 워터마크를 주파수 영역에서 그대로 삽입하지 않고 LPM에서의 워터마크 영상만을 추출하여 이를 직각 좌표계로 역변환하여 원영상에 더하는 간접삽입방식을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용되는 2-D DFT와 LPM의 성질에 대해 설명하며 이를 이용한 제안하는 워터마킹 방법을 3장에서 설명한다. 4장에는 실험결과로 제안하는 방법의 타당성을 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 2-D DFT와 LPM의 성질과 FMW방법

제안하는 워터마킹 방법은 영상을 회전, 크기변화, 그리고 이동에 무관한 영역으로 변환하여 워터마크를 삽입한다. 이 장에서는 위 세가지 기하학적 변환 중 영상을 회전과 크기변화에 무관한 영역으로 변환하는데 사용되는 2-D DFT와 LPM의 성질에 대해 설명한다.

2.1 2-D DFT의 성질

DFT의 중요한 성질은 그 크기 성분이 영상의 이동에 영향을 받지 않는다는 것이다. 공간영역에서 신호의 이동에 대한 2-D DFT 특성을 살펴보면 식 (1)과 같이 신호의 이동은 DFT결과의 위상만을 이동시키고 크기성분에는 영향을 미치지 않는다.

$$f(x, y) \leftrightarrow F(u, v) \tag{1}$$

$$f(x+a, y+b) \leftrightarrow F(u, v) \exp[-j(au + bv)]$$

여기에서 $f(x, y)$ 는 공간 영역의 이차원 신호, a 와 b 는 각각 x 축 y 축으로의 이동, $F(u, v)$ 는 $f(x, y)$ 의 2-D DFT 결과이다. 또한 공간상의 영상이 회전 되었을 경우 2-D DFT는 식 (2)와 같이 원 영상의 회전과 같은 크기와 방향으로 회전으로 나타난다. 마지막으로, 원 영상의 공간 내에서 크기 변화는 식 (3)과 같이 주파수 영역에서는 해상도(resolution)의 증가와 신호의 크기가 원 신호의 공간 내에서의 크기 성분에 반비례하여 작아지는 성질을 가진다.

$$f(x \cos \theta - y \sin \theta, x \sin \theta + y \cos \theta) \leftrightarrow F(u \cos \theta - v \sin \theta, u \sin \theta + v \cos \theta) \tag{2}$$

$$f(ax, by) \leftrightarrow \frac{1}{ab} F(u/a, v/b) \quad (3)$$

2.2 LPM의 성질

LPM은 영상의 크기변화에 무관하다는 성질과 직각 좌표계에서의 회전을 순환 천이로 바꾼다는 성질을 가진다. LPM에 의해서 직각 좌표계의 신호가 대수극좌표계로 변환되면 원 신호의 공간 내 크기와 관계없이 대수극 좌표계 신호의 크기는 r방향과 θ방향의 표본 수(sampling rate)인 N_r 과 N_θ 에 의해 결정되므로 원 영상의 크기 변화에 영향을 받지 않으며, 원 신호의 회전은 대수극 좌표계에서 θ방향의 회전 이동(cyclic shift)로 나타나게 된다. 아래의 식 (4)은 직각 좌표계의 한 점 (x, y)가 대수극 좌표계의 한 점 (r, θ)로 변환하는 식이다.

$$\begin{aligned} x - x_0 &= \exp(r\Delta_r) \cos(\theta\Delta_\theta) \\ y - y_0 &= \exp(r\Delta_r) \sin(\theta\Delta_\theta) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 (x_0, y_0) 는 대수극 좌표계에서 원점으로 사용될 직각 좌표계에서의 좌표, $r = \{0, 1, \dots, N_r - 1\}$, $\theta = \{0, 1, \dots, N_\theta - 1\}$ 이며, $\Delta_r = \frac{\ln(\max. \text{distance from origin})}{N_r - 1}$, $\Delta_\theta = \frac{2\pi}{N_\theta}$ 는 r과 θ방향의 표본 간격(sampling step size)을 나타낸다. 위와 같은 LPM의 성질을 그림 1에 예를 들어 나타내었다. 그림 1의 (a)가 원 영상, (c)는 원 영상

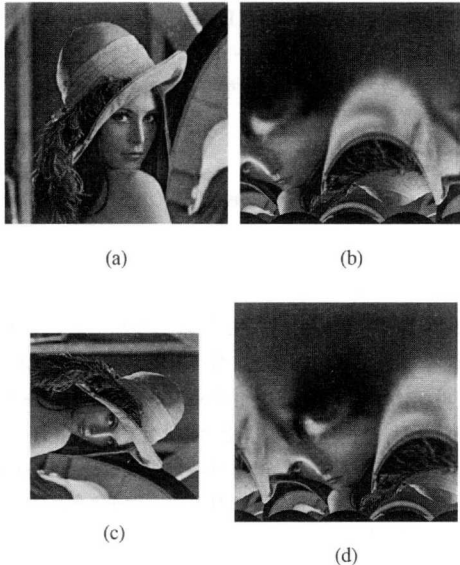


그림 1. LPM의 성질: (a) 원 영상 (b); (a)의 LPM; (c) 원 영상을 90도 회전 후 크기를 75%로 한 영상; (d) (c)의 LPM

에 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 회전이 순환이동으로 나타남을 알 수 있다.

III. 제안하는 워터마킹 방법

제안하는 워터마킹 방법은 FMW과 마찬가지로 2-D DFT와 LPM의 특성을 이용하여 영상을 기하학적 변환에 무관한 영역으로 변환하여 이 영역에 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격에 강인하도록 만든 방법이다. 그러나 제안된 방법은 2-D DFT를 한번만 수행함으로써 계산량을 줄일 수 있고 워터마크를 원하는 주파수 대역에 넣을 수 있어 파형 공격에도 강인할 수 있으며 LPM을 공간영역에서 사용함으로써 주파수 영역에서의 내삽으로 인해 발생하는 문제를 해결할 수 있다. 동일한 영상이라도 LPM의 원점이 다르게 정해진다면 LPM 영역에서의 영상이 전혀 다르게 나타날 것이기 때문에 영상을 LPM 할 경우 그 원점의 선택은 매우 신중해야 하며 어떠한 공격에도 변하지 않는 점이 LPM의 원점으로 선택되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 다양한 공격에도 변하지 않는 불변의 무게중심을 LPM의 원점으로 제안하며 이를 통해 LPM된 영상은 원 영상의 크기 변화나 이동에 무관한 영역이 되며 원 영상의 회전이 순환 천이로 변화되어 나타난다. 그러므로 이상의 결과로 만들어진 영역이 회전에 불변이 되도록 하기 위해 2-D DFT를 수행하며 그 크기 성분을 추출하게 된다. 추출된 크기 성분은 이제 회전, 크기 변화, 이동에 무관한 영역이 되며 이 영역을 워터마크 삽입 영역으로 선택하고 워터마크를 삽입한다. 워터마크 검출과정에서는 원 영상 없이 워터마크의 존재유무로써 영상의 저작권을 판별한다.

3-1 불변의 무게중심

제안된 워터마킹 방법은 주파수 영역에서 내삽으로 인한 문제점을 해결하고 크기 변화에 무관한 성질을 갖기 위해 공간영역에서 LPM을 수행한다. LPM에서 원점이 바뀌면 LPM 결과 영상도 달라지기 때문에 원점의 선택은 매우 중요하다. FMW에서는 2-D DFT의 크기 영역에서 LPM을 수행하므로 원점은 항상 DC로 두고 LPM을 수행한다. 그러나 공간 영역에서 영상의 중심점을 원점으로 LPM을 수행하면 어떠한 이유로 영상의 가장자리가 잘려나

갈 경우 그 중심점이 이동하게 되고 이로 인해 LPM 결과 영상이 다르게 나타나게 된다. 따라서

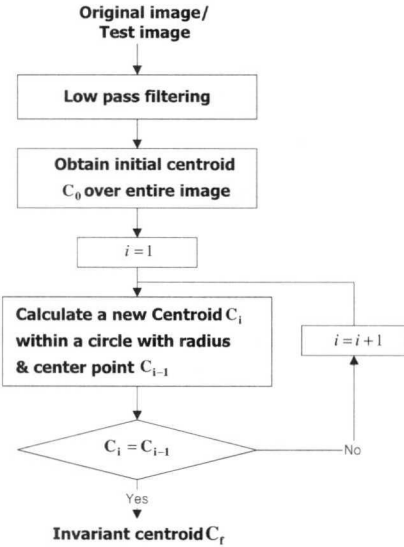


그림 2. 불변의 무게중심 계산 방법

공간영역에서 LPM을 수행할 경우 파형공격이나 잘림을 동반하는 기하학적 공격에도 변하지 않는 점을 원점으로 사용해야 한다. 그러나 기존의 특징점 추출 방법에서 위와 같은 공격 후에도 변하지 않는 점을 찾아낸다는 것은 쉽지 않은 일이다. 그러므로 제안하는 워터마킹 방법에서는 반복적인 방법을 사용해 구해지는 불변의 무게중심을 LPM의 원점으로 제안하며 이는 이동 공격에도 무관한 성질도 갖게 된다.

불변의 무게중심을 구하는 방법을 그림 2에 나타내었다. 영상 $I(x, y)$ 의 무게중심 $C = (C_x, C_y)$ 는 아래의 식 (5)와 같이 영상의 일 차원 모멘트로부터 구할 수 있다.

$$C_x = \sum_x \sum_y I(x, y)x, C_y = \sum_x \sum_y I(x, y)y \quad (5)$$

여기에서 $f(x, y) = I(x, y) / \sum_x \sum_y I(x, y)$ 이며

$(x, y) \in R^2$ 는 영상의 내부 영역을 나타낸다. 식 (5)를 통해 영상의 무게중심은 영상내의 화소의 좌표와 화소값에 의해 결정됨을 알 수 있다. 즉, 파형공격에 의해 화소값이 변하거나 잘려짐으로 인해 화소가 사라질 경우 원영상의 무게중심과 같은 지점을 찾아낼 수 없게 된다. 그래서 제안하는 방법에서는 파형 공격의 영향을 줄이기 위해 영상의 초기

중심값 C_0 를 원영상의 저대역 통과 영상으로부터 식 (5)를 통해 구하고 이를 중심으로하고 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. 이 후 두 무게중심 C_1, C_2 가 같은 값을 가지는 지를 비교한다. 위와 같은 과정을 원 영역의 무게중심이 수렴할 때까지 계속 반복하여 수렴된 점을 불변의 무게중심 C_f 라 한다. 이때, 영역의 모양은 반드시 원이어야 하며 이는 회전공격을 받은 후에도 동일한 점을 찾아내기 위함이다. 이상의 과정으로 구해진 불변의 무게중심은 저대역 통과 필터와 전체 영상이 아닌 영상의 중심 부근영역을 이용하여 구해지므로 파형공격과 잘려짐을 동반한 기하학적 공격에 모두 영향을 받지 않게 되며 이를 중심으로 LPM을 수행하면 영상을 크기 변화와 이동에 무관한 영역으로 변환할 수 있게 된다.

3-2 워터마크 삽입

제안하는 워터마크 삽입 방법을 그림 3에 나타내었다. 영상 $I(x, y)$ 는 불변의 무게중심 C_f 를 원점으로 하여 LPM 한다. 그 결과 LPM된 영상 $LM(r, \theta)$ 는 이동과 크기 변화에 무관하게 된다. 그러나 영상의 회전에는 영향을 받게 되며 $LM(r, \theta)$ 에서 이는 순환천이로 나타나게 된다. 여기에서 영상의 회전에 대해서도 불변인 영역을 만들기 위해 2-D DFT를 수행한다. 2-D DFT의 결과로 나타나는 크기 성분인 $M(R, \theta)$ 는 2-D DFT의 성질에 의해 이동에 불변인 영역이므로 LPM으로 인해 이동으로 나타나는 영상의 회전에 대해 불변인 성질을 갖게 된다. 결과적으로 $M(R, \theta)$ 는 영상의 회전, 크기 변화, 이동에 불변인 영역이 되며 이 영역에 저작권자의 키로부터 생성된 워터마크를 첨가하게 되면 워터마크가 기하학적 공격에 강한 성질을 가지게 된다.

삽입되는 워터마크 W_k 는 저작권자의 키로부터 생성된 -1 과 1 로 구성된 N 개의 이진 준-랜덤 수열(binary pseudo-random sequence)이며 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 생성된 워터마크 W_k 는 $M(R, \theta)$ 중에서 비밀키를 사용하여 대역 $f_1 < \sqrt{R_i^2 + \theta_i^2} < f_2$ 을 만족하는 N 개의 좌표 $(R_i, \theta_i), \dots, (R_N, \theta_N)$ 을 랜덤하게 추출하여 식 (7)

을 이용하여 삽입한다.

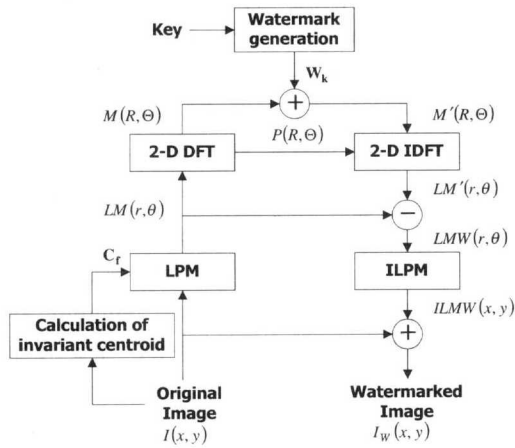
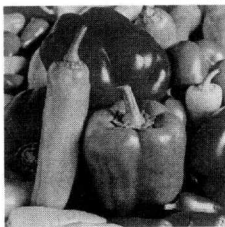


그림 3. 제안하는 워터마크 삽입과정

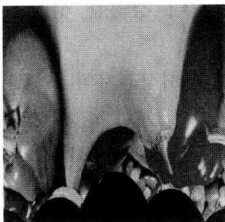
$$W_k = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}, w_i = \{-1, 1\} \quad (6)$$

$$M(R_i, \theta_i) = M(R_i, \theta_i)(1 + aw_i) \quad (7)$$

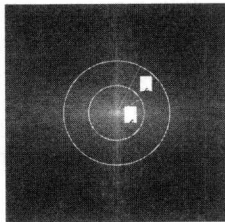
여기에서 a 는 워터마크 삽입 강도이고 $1 \leq i \leq N$ 이다. 그리고 2-D DFT의 크기성분은 DC를 중심으로 대칭이므로 $M(-R_i, -\theta_i)$ 에도 위 식 (7)을 동일하게 적용하여야 하며 그림 4에서 원 영상을 (a), 이상에서 설명한 과정으로 인해 만들어진 $LM(r, \theta)$ 을 (b), $M(R, \theta)$ 와 워터마크 삽입대역을 (c)에 영상으로 나타내었다. 또한, 제안하는 워터마크 삽입 방법



(a)



(b)



(c)

그림 4. 기하학적 변환에 무관한 영역으로의 변환: (a) 원 영상; (b) (a)의 $LM(r, \theta)$; (c) (b)의 $M(R, \theta)$ 와 워터마크 삽입 주파수 대역

은 이웃 화소들간의 값이 비슷한 공간영역에서 LPM을 수행하지만 이 또한 내삽과정을 거쳐야 하므로 화질의 열화가 발생할 수 있으므로 워터마크를 주파수 영역에서 직접 삽입하는 것이 아니라 워터마크의 LPM에서의 영상만을 직각 좌표계로 역 LPM하여 원 영상에 더함으로써 좌표계 변환으로 인한 화질열화를 줄일 수 있다.

3-3. 워터마크 검출

제안된 워터마크 방법은 원 영상 없이 워터마크의 존재 유무로써 저작권 정보를 판단한다. 그림 5는 워터마크 검출과정을 나타내며 그 과정은 다음과 같다. 테스트 영상이 입력되면 워터마크 삽입과정에서와 마찬가지로 불변의 무게중심을 구하고 이를 원점으로 대수-극좌표계로 영상을 변환하여 변환된 영상에서 2-D DFT의 크기 성분인 $M(R, \theta)$ 를 구한다. 구해진 크기 성분 $M(R, \theta)$ 로부터 삽입과정에서 사용된 대역과 키로써 워터마크가 삽입되어 있는 위치의 크기 성분 $M(R_i, \theta_i), \dots, M(R_N, \theta_N)$ 을 추출하여 식 (8)과 같이 워터마크와의 유사도 (similarity) 를 구하고 이를 문턱 값 T 와 비교하여 워터마크의 존재유무를 판단함으로써 저작권을 판단할 수 있다.

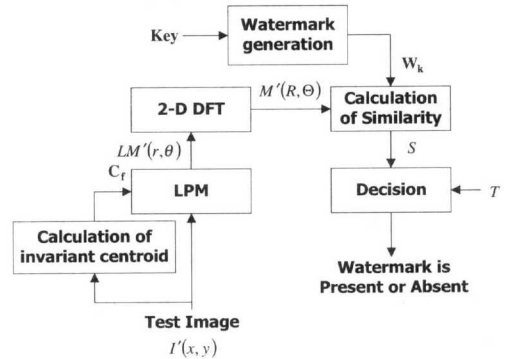


그림 5. 워터마크 검출

$$S = \frac{\sum_{i=0}^N w_i M(R_i, \theta_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (M(R_i, \theta_i))^2}} \quad (8)$$

IV. 실험결과

실험에서는 256×256 크기의 Lena, Girl, Pepper 영상을 사용하였으며 Barni의 방법^[8]과 2-D DFT에 기반한 INW^[19]와 비교를 통해 제안된 방법의 성능

을 분석하였다. 제안된 방법에서 불변의 무게중심을 찾기 위한 원의 반지름 r 은 64로 하였으며 LPM 시 표본 수 N_r, N_θ 는 512개로 하였다. 또한, 워터마크가 삽입될 대역 f_1, f_2 는 각각 50, 70으로 하였고 삽입 강도 α 는 Lena, Pepper 영상의 경우 0.2, Girl 영상에서는 0.3을 사용하였다. 삽입되는 워터마크의 길이 N 은 3000으로 하였으며 워터마크의 존재 유무를 판단하는 문턱 값 T 는 실험을 통해 3으로 결정하였다. 그림 6에 실험에 사용된 영상을 나타내었다. 그림 6의 (a),(c),(e)는 원 영상, (b),(d),(e)는 각각의 워터마크가 삽입된 영상으로 신호 대 잡음 전력 비(PSNR)가 각각 41.40dB, 41.78dB, 40.08dB로 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 제안된 방법은 비가시성이라는 워터마크가 가져야 하는 성질을 만족한다.

제안된 워터마킹 방법에서 LPM의 원점으로 사용되는 불변의 무게중심을 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 (a)는 원영상의 불변의 무게중심이며 그림 7의 (b)에서 (f)는 각각 3×3 크기의 평균 필터(averaging filter) 통과, 5%의 가우시안(Gaussian) 잡음 첨가, 압축비(compression ratio) 70으로 JPEG 압축, 잘려짐을 동반한 시계방향으로 20도 회전, x 축 방향으로 30화소 이동, 크기 요소(scaling factor) 0.5로 크기를 변화시킨 영상에 대한 불변의 무게중심을 구한 결과를 나타낸 것이다. 각각의 무게중심의 그림에서 작은 십자형태로 나타내었으며 그림에서 볼 수 있듯이 다양한 공격에 대해 불변의 무게중심이 변하지 않고 일정한 위치에 나타남을 알 수 있다.

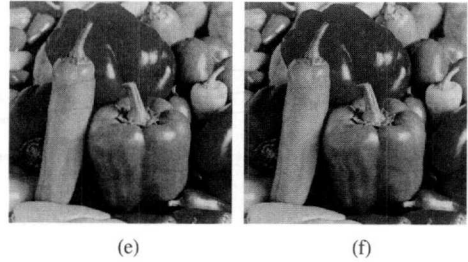
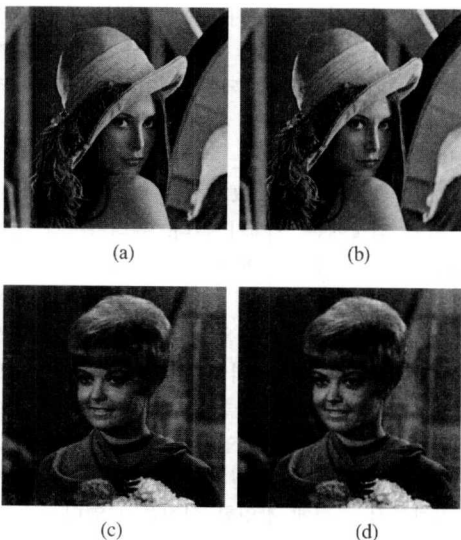


그림 6. 원 영상과 워터마크가 첨가된 영상: (a),(c),(e) 원 영상; (b),(d),(e) 워터마크가 첨가된 영상.

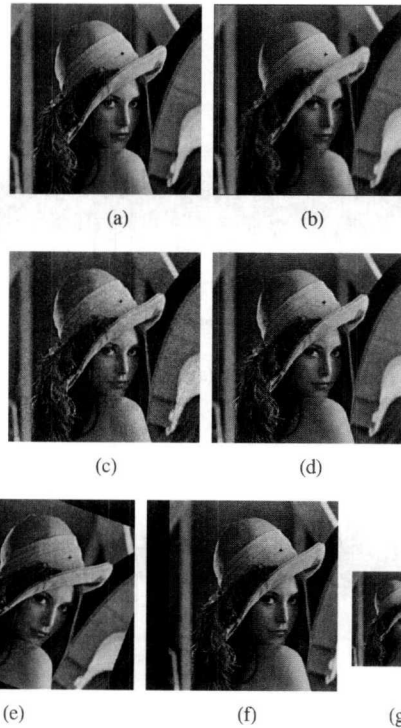


그림 7. 불변의 무게중심: (a) 원 영상; (b) 3×3 평균 필터 통과 영상; (c) 5% 가우시안 잡음 첨가 영상; (d) 압축비 70으로 JPEG 압축한 영상; (e) 시계방향으로 20도 회전한 영상 (f) x 축으로 30화소 이동한 영상 (g) 크기 요소 0.5로 크기를 변화한 영상

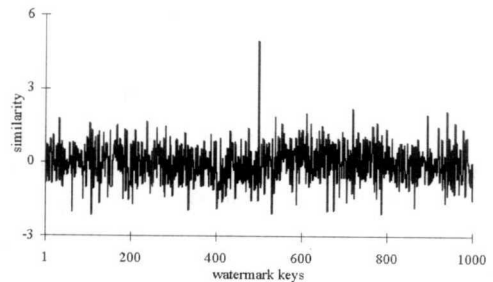


그림 8. Lena 영상에서 1000개의 서로 다른 키로부터 발생시킨 워터마크와의 유사도

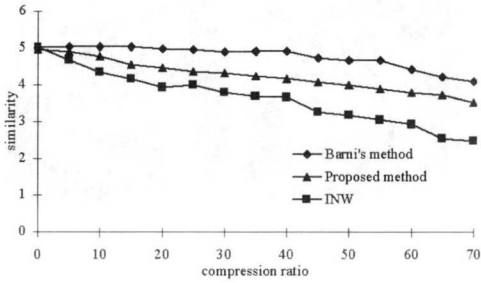


그림 9. Lena 영상에서 JPEG 압축비에 대한 유사도

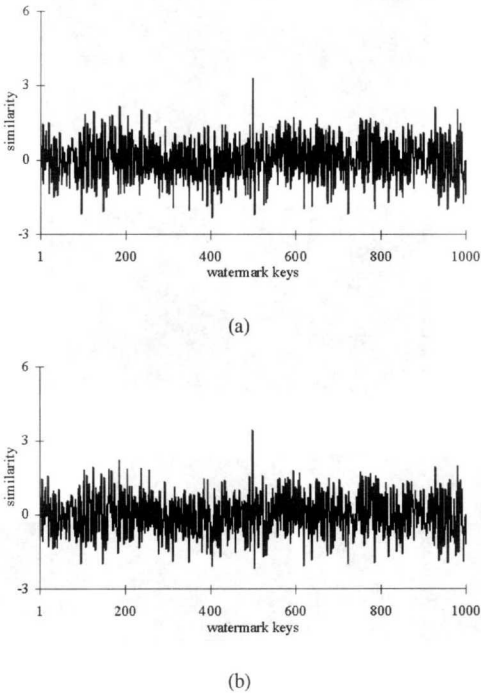


그림 10. 저대역 통과된 Pepper 영상에서 1000개의 서로 다른 키로부터 발생한 워터마크와의 유사도: (a) 3x3 평균필터 통과; (b) 3x3 중간 값 필터 통과.

서로 다른 1000개의 키를 이용해 만들어진 워터마크 중 500번째 키로 만들어진 워터마크를 원 영상에 삽입하고 이로부터 1000개의 워터마크와의 유사도를 구한 것의 예를 그림 9에 나타내었다. 실험 결과 500번째 워터마크와의 유사도가 가장 높게 나타났으며 문턱 값을 만족시키므로 500번째의 워터마크가 영상에 있음을 확인 할 수 있어 이 워터마크를 만들 수 있는 키를 가진 사람이 영상의 저작권자임을 증명할 수 있게 된다.

제안된 워터마킹 방법의 견고성을 보이기 위해 파형공격과 기하학적 공격에 대해 모두 실험해 보

았다. 먼저 그림 9와 10은 제안된 워터마킹 방법이 파형공격에 강인하다는 것을 보여준다. JPEG 압축방식으로 압축비를 70까지 증가 하였음에도 워터마크가 잘 검출됨을 그림 10에서 확인 할 수 있다. 또한, 저대역 통과필터인 3x3 평균 필터와 3x3 중간 값 필터(median filter)를 통과한 후에도 그 상관계수는 공격에 의해 크기가 줄어들었지만 그 값이 문턱 값 이상이므로 저작권을 주장하는데 아무런 문제가 없다.

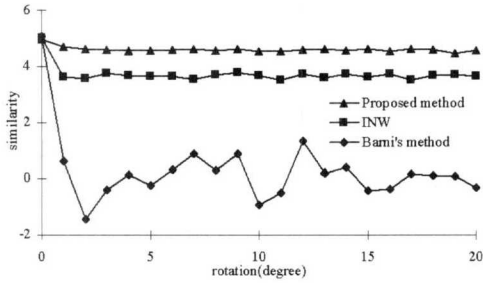
제안된 워터마킹 방법이 기하학적 공격에도 강인함을 그림 11, 12, 13에서 나타내었다. 그림 11의 (a)는 잘려짐 없이 워터마크가 첨가된 영상을 20도 까지 회전시키면서 상관계수를 구한 것이다. 제안된 방법과 INW는 회전에 관계없이 워터마크정보를 잘 검출함을 알 수 있으나 Barni의 방법은 1도 정도의 회전에 도 워터마크를 검출하지 못하는 것을 볼 수 있다. 이는 시각적으로는 구별하지 못하는 정도의 회전 공격에도 저작권정보를 잃어버리는 것으로 매우 심각한 문제가 될 것이나 제안된 방법은 이를 해결하는 방법이 될 것이다. 그림 11의 (b)는 잘려짐을 동반한 회전 공격에 대한 유사도를 나타낸 것이다. INW는 잘려짐이 없을 경우 회전 공격에 대해 강인한 성질을 보였으나 잘려짐이 발생할 경우 영상의 모멘트값이 달라져 원 영상의 정규화된 영상과 동일한 영상을 만들 수 없어 저작권 정보를 잃어버리게 된다. 워터마크가 첨가된 영상의 크기 요소(scaling factor)를 0.5에서 2.0까지 변화시키면서 상관계수를 구해 그림 12에 나타내었다. 워터마크가 LPM에 의해 영상의 크기에 무관한 영역에 삽입되므로 이론적으로 유사도는 영상의 크기와 관계 없이 동일한 값을 가져야 하나 이산 신호인 디지털 영상의 크기를 줄이게 되면 필연적으로 데이터의 손실이 발생하기 때문에 유사도가 떨어지게 된다. 그러나 제안된 방법에서는 크기요소가 0.5가 되더라도 그 상관계수 값의 크기가 문턱 값 이상이므로 워터마크 검출에는 문제가 없다. 워터마크가 첨가된 영상을 x축 방향으로 40회소까지 이동시키면서 상관계수를 구한 것을 그림 13에 나타내었다. 제안된 방법이 불변의 무게중심을 사용하므로 무게중심을 구할 때 사용된 원 영역을 침범하지 않는 정도의 이동에는 워터마크를 검출하는데 어려움이 없었다. 이상의 결과와 같이 제안된 방법은 LPM과 2-D DFT의 성질 그리고 불변의 무게중심을 이용함으로써 기하학적 공격에 강인한 성질을 보였다.

V. 결론

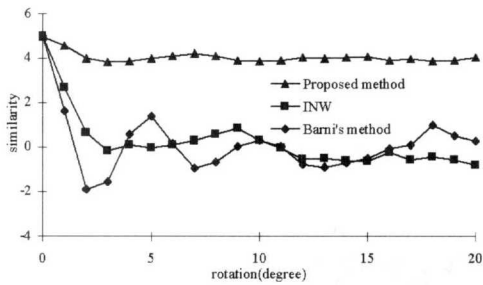
본 논문에서는 영상을 회전, 크기 변화, 이동에 불변인 영역으로 변환하고 이 영역에 워터마크를 삽입함으로써 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 영역은 LPM과 2-D DFT를 통해 만들어진다. LPM은 크기 변화에 무관하며 그 원점으로 불변의 무게중심을 사용함으로써 이동에도 무관하다. 또한 영상의 회전을 순환 천이로 바꾸어 주는 성질을 가진다. LPM의 순환 천이, 즉 원 영상의 회전에 무관한 영역은 LPM 영상을 2-D DFT하여 그 크기성분을 추출함으로써 얻어진다. 이상의 결과로 회전, 크기변화, 이동에 무관한 영역이 만들어졌으며 이 영역에 저작권자의 키로부터 발생된 워터마크를 삽입하였다. 제안된 방법은 2-D DFT를 한번만 수행함으로써 계산량을 줄일 수 있었고 시각적으로 중요한 주파수 대역에 워터마크를 삽입할 수 있어 파형공격에도 강인한 성질을 가질 수 있었으며, 워터마크를 대수-극좌표계의 주파수 영역에서 직접 삽입되지 않고 워터마크 정보를 추출하여 이를 직각좌표계상의 원 영상에 더하는 간접 삽입 방법을 이용하여 좌표계 변환으로 인해 발생하는 화질 열화를 막을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. D. Swanson, M. Kobayashi, and A. H. Tewfik, "Multimedia data-embedding and watermarking technologies," in *Proceedings of the IEEE*, 86(6), pp. 1064-1087, June 1998.
- [2] W. R. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding," *IBM Systems Journal*, 35(3), pp. 313-336, Mar. 1996.
- [3] I. Pitas, "A method for watermark casting on digital images," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 8(6), pp. 775-780, Oc.. 1998.
- [4] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," in *Proceedings of ICIP*, 2, pp. 86-89, 1994.
- [5] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(6), pp. 1123-1129, Jun. 2000.



(a)



(b)

그림 11. Lena 영상에서 회전 공격후의 유사도: (a) 잘려짐을 동반하지 않은 회전 후의 유사도; (b) 잘려짐을 동반한 회전 후의 유사도

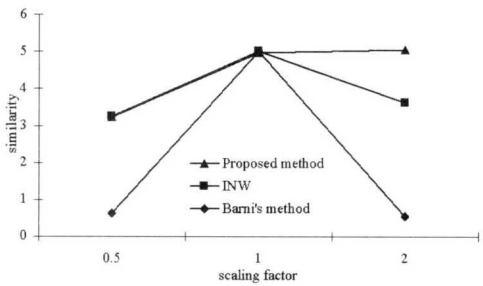


그림 12. Lena 영상에서 크기 변화 공격후의 유사도

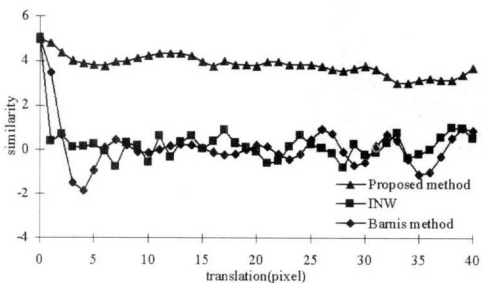


그림 13. Lena 영상에서 이동 공격후의 유사도

[6] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain," *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(11), pp. 1741-1753, Nov. 2001.

[7] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(12), pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[8] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal processing*, 66, pp. 357-372, May, 1998.

[9] A. G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," in *Proceedings of ICIP*, 3, pp. 231-234, Sept. 1996.

[10] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden Digital Watermark in Images," *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(1) pp. 58-68, Jan. 1999.

[11] S. Burgett, E. Koch, and J. Zhao, "Copyright labeling of digitized image data," *IEEE Communication Magazine*, 36, pp. 94-100, Mar. 1998.

[12] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-band function," in *Proceedings of ICIP*, 1, pp. 544-547, 1997.

[13] Y. S. Kim, O. H. Kwon, R. H. Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," *Electronic Letters*, 35(6), pp. 466-468, Mar. 1999.

[14] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(5), May 2001.

[15] C. Hangqiang and Z. Guangxi, "A watermarking method based on fractal self-similarity," *Proceedings of Signal Processing*, 1, pp. 99-102, 2000.

[16] J. J. K. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," in *Proceedings of ICIP*, 1, pp. 536-539, 1997.

[17] J. J. K. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum

digital image watermarking," *Signal Processing*, 66(3), pp. 303-317, 1998.

[18] S. Pereira, J. J. K. O'Ruanaidh, F. Deguillaume, G. Csurka, and T. Pun, "Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps," in *Proceedings of ICMCS*, 1, pp. 870-874, 1999.

[19] M. Alghoniemy and A. H. Tewfik, "Geometric distortion correction through image normalization," in *proceedings of ICME*, 3, pp. 1291-1294, 2000.

[20] G. C. Langelaar, I. Setyawan, and R. L. Legendijk, "Watermarking digital image and video data," *IEEE Signal Processing Magazine*, 17, pp. 20-46, Sept. 2000.

김 범 수(Bum-Soo Kim)

준회원



1997년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
1999년 2월 : 경북대학교
전자공학과 석사
1999년 3월~현재 : 경북대학교
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 영상 워터마킹, 영상 분할, 내용기반 영상 검색

최 재 각(Jae-Gark Choi)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제3호 참조
현재: 동의대학교 컴퓨터공학과 교수

유 광 훈(Kwnag-Hoon You)

학생회원



2001년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업
2001년 3월~현재 : 경북대학교
전자공학과 석사과정
<주관심 분야> 영상 워터마킹,
영상 분할

김 우 섭(Woo-Seob Kim)

학생회원



2001년 2월 : 경북대학교

전자공학과 졸업

2001년 3월~현재 : 경북대학교

전자공학과 석사과정

<주관심 분야> 영상 워터마킹,

영상 분할

고 창 림(Chang-Rim Koh)

정회원

현재 : 경일대학교 전자정보학과 교수

최 종 욱(Jong-Uk Choi)

정회원

현재 : (주)마크애니 대표이사

박 길 흠(Kil-Houm Park)

정회원

한국통신학회 논문지 제24권 제9B호 참조

현재 : 경북대학교 전자공학과 교수