

# 영상특징 정렬을 이용한 기하학적 공격에 강인한 워터마킹 기법

고 윤 호<sup>†</sup>

## 요 약

본 논문에서는 이동 및 회전과 같은 기하학적 공격에 강인한 새로운 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 방법은 캐릭터 영상과 같은 임의의 모양을 가지는 영상에 적용하기 위한 기존 극좌표계 이산변환(PSADT:Polar Coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 의한 기법을 기반으로 한다. 극좌표계 이산변환에 의한 기법은 영상 객체의 모양이 유지되면 각종 기하학적 공격에 대하여 완벽한 강인성을 제공한다. 하지만 일반 사각형 영상에는 워터마크를 삽입하고 추출하는 과정에서 발생하는 워터마크 신호의 불일치로 인하여 적용에 한계를 가진다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 워터마크 신호를 영상에 내재된 특징인 모서리를 이용하여 정렬하는 새로운 기법을 제안한다. 즉 제안된 방법은 악의적 공격에 대해서도 그 모양이나 위치가 바뀌지 않는 일관된 영역을 결정하고 해당 영역에 극좌표계 이산변환에 의한 기법을 사용하여 워터마크를 삽입한다. 실험 결과를 통해 제안된 방법이 압축뿐만 아니라 기하학적 공격에 대해서도 강인함을 보인다.

## Robust Watermarking Scheme Against Geometrical Attacks Using Alignment of Image Features

Yun-Ho Ko<sup>†</sup>

## ABSTRACT

This paper presents a new watermarking scheme that is robust against geometrical attacks such as translation and rotation. The proposed method is based on the conventional PSADT(Polar Coordinates Shape Adaptive Discrete Transform) method which is an robust watermarking scheme for an arbitrarily-shaped image such as character images. The PSADT method shows perfect robustness against geometrical attack if there is no change in the shape of the image object. However, it cannot be utilized to watermark general rectangular images because of the missing alignment between the watermarked signals in the embedding and extracting side. To overcome this problem we propose a new watermarking scheme that aligns the watermark signal using the image inherent feature, especially corner. Namely the proposed method decides a consistent target region whose shape and position isn't changed by any malicious attack and then embeds the watermark in it using the PSADT method. Experimental results show the robustness of the proposed method against geometrical attacks as well as image compression.

**Key words:** Watermarking(워터마킹), Watermark(워터마크), Geometrical Attack(기하학적 공격)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 고윤호, 주소 : 대전  
광역시 유성구 궁동 220(305-764), 전화 : 042)821-6860,  
FAX : 042)823-4919, E-mail : koyh@cnu.ac.kr  
접수일 : 2006년 2월 27일, 완료일 : 2006년 4월 27일

<sup>†</sup> 충남대학교 메카트로닉스공학과 전임강사  
※ 이 논문은 2005년도 충남대학교 학술연구비의 지원에  
의하여 연구되었음.

## 1. 서 론

오늘날 멀티미디어 컨텐츠(multimedia contents)는 거의 디지털화된 형태로 생성되고 배포되고 있다. 이러한 디지털 컨텐트는 쉽게 내용에 접근할 수 있고, 원본과 동일한 복사본을 제작하여 예리 없이 수요자에게 전달할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 이러한 특징은 권한을 가지지 않은 이가 이를 악용해 해당 데이터를 손쉽게 불법적으로 복제하거나 재생산 할 수 있는 문제점이 되기도 한다. 특히 영상과 음성과 같은 멀티미디어 데이터의 보편화와 더불어 인터넷과 같은 네트워크 환경의 대중화는 더욱더 저작권(copyright) 보호 문제의 중요성을 부각시키고 있다. 이와 같은 디지털 저작물에 대한 불법적인 사용을 방지하기 위한 하나의 수단으로 워터마킹 기법이 제안되었다[1].

워터마킹이란 멀티미디어 데이터에 대한 저작권 보호 및 불법사용에 대한 검출을 위한 목적으로 권한을 가진 이만이 추출할 수 있는 식별 불가능한 작은 신호를 저작물에 삽입하는 기술이다. 이러한 워터마킹 기법들은 워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하는지의 여부에 따라 분류될 수 있다. 우선 원본 신호를 사용하여 워터마크를 검출하는 부류로써 이러한 방식을 사용한 대표적 연구는 [2-5] 등이 있다. 이러한 방식은 원본 영상을 이용함으로 인해 보다 안정적으로 워터마크를 검출할 수 있으나 실질적인 응용에 있어서 많은 제한을 가진다. 즉, 워터마크가 검출되어야 할 영상에 대응하는 원본 영상을 검색하는 과정은 데이터베이스가 방대해질수록 계산량이 기하급수적으로 늘어나는 문제를 야기한다. 또 다른 부류는 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 부류로써 이러한 방식을 블라인드(blind) 방식이라고 부르며 앞서 언급한 원본 영상을 사용하는 기법들로 문제로 인해 많은 연구가 이러한 방식의 워터마킹 기법의 개발에 초점이 맞추어져 있다[6-8].

하지만 지금까지 개발된 블라인드 방식은 일반적으로 JPEG, MPEG-1,2 등과 같은 압축 기법들과 저대역 필터와 같은 공격에 대하여서는 우수한 성능을 보이지만, 회전 및 크기 변화 등과 같은 기하학적 공격(geometrical attack)에 대해서는 워터마크 신호를 거의 보존할 수 없는 취약점을 가지고 있다. 원본 영상을 사용하는 워터마킹 기법은 회전 및 크기 변화

등과 같은 공격이 가해지더라도 원본 영상과의 비교를 통해 가해진 공격을 추정한 후 복원해 안정적인 워터마크의 추출이 가능하다. 하지만 블라인드 워터마킹 기법은 원본 영상을 이용할 수 없으므로 이러한 복원 과정이 불가능하다. 실제 대표적 블라인드 워터마킹 기법의 하나인 Barni 기법은 약 1°의 회전에도 워터마크 신호가 거의 추출될 수 없게 된다. 이러한 회전 공격과 같은 기하학적인 공격이 가지는 문제점은 영상에 대한 상업적 가치는 거의 유지시키면서 워터마크를 치명적으로 손상시킨다는 것이다. 따라서 이러한 기하학적 공격에 강인한 특성을 가지는 워터마킹 기법의 개발은 워터마킹 기술에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다.

기하학적 공격에 대한 강인성이 워터마킹 기술의 핵심 문제 중의 하나로 대두됨에 따라, 최근 이를 해결하기 위한 여러 방식들이 제안되고 있다. 이러한 기법들은 크게, 전체 탐색(exhaustive search) 방법, 정렬 신호 등록(registration) 방법[9], 자기상관성(autocorrelation) 이용 방법[10,11], 불변 워터마크(invariant watermark)[12,13] 방식 등으로 분류될 수 있다. 그러나 이들 중 어느 것도 아직 상업적 이용이 가능할 정도의 견고성을 가지지 못하는 것으로 평가되고 있다. 먼저 전체 탐색(exhaustive search)을 이용한 방법은 모든 가능한 기하학적 공격에 대한 조합을 체크해야 하므로 현실적 응용이 불가능하다. 정렬 신호 등록(registration)에 의한 방법은 기하학적 공격 시 워터마크 신호와의 정렬을 위해 삽입되는 부가 신호가 상대적으로 제한된 영역에 작은 신호 형태이므로 간단한 압축과 같은 단순한 공격에 의해 서도 정렬을 위한 신호 자체가 사라지는 문제점을 가진다. 또 자기상관성(autocorrelation)에 의한 기법은 악의적인 목적의 공격자가 단순한 자기상관성(autocorrelation) 처리를 통해 워터마크 신호를 선택적으로 삭제할 수 있다는 단점을 지닌다.

한편 불변 워터마크(invariant watermark) 기법으로 분류되는 PSADT에 기반한 워터마킹 기법은 MPEG-4의 광범위한 응용 영역 및 JPEG 2000의 표준화 방향을 고려하여 임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용할 수 있는 기법이다[13]. PSADT 기법은 대수-극 좌표계로의 변환과 PSADT 변환을 이용하여 회전, 크기 변화와 같은 기하학적인 공격에 영향을 받지 않는 변환계수를 구하고 대역-화산의 방

식으로 워터마크 정보를 삽입하게 된다. 이러한 방식을 통해 회전뿐만 아니라 크기 변화에도 완벽한 강인성이 제공된다. 하지만 PSADT에 기반한 워터마킹 기법은 영상 객체의 모양이 유지되어야만 기하학적인 공격에 대한 완벽한 강인성을 보장한다. 즉, 캐릭터 영상과 같이 임의의 모양을 가지는 영상 객체에서 그 모양 정보에 대한 왜곡이 전혀 없는 것을 가정한다. 이러한 특징으로 인해 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 형태의 영상에 적용하지 못하는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 영상에 적용하기 위한 워터마크 신호의 정렬 기법을 제안하고자 한다. PSADT에 기반한 기법이 근본적으로 회전 공격에 영향을 받지 않으므로 다양한 공격에 대해서도 일관성 있게 추출되는 목표 영역(target region)이 있다면 이를 통해 워터마크 신호를 삽입하고 추출하게 되면 워터마크 신호를 정렬할 수 있게 된다. 먼저 2장에서는 기존 PSADT에 기반한 기법을 간략히 소개하고 해당 기법을 일반적 사각형 영상에 적용하는데 있어서 발생하는 문제점을 지적한다. 3장에서는 워터마크 신호의 정렬을 위해 영상특징 중의 하나인 코너를 이용하는 기법에 대하여 제안한다. 4장에서는 제안된 기법에서 실제 워터마크를 삽입하고 추출하는 과정에 대하여 기술하고, 5장에서는 그 성능을 분석한다.

## 2. PSADT에 기반한 기법과 그 한계

그림 1은 기존 PSADT에 기반한 워터마킹 기법의 전체 구조를 도시하고 있다. 그림 1에서와 같이 먼저

대수-극 좌표계로의 변환(conversion to log-polar coordinates)을 통해 임의의 모양을 가질 수 있는 원본 영상  $I(x,y)$ 는 대수-극 좌표계로의 영상  $I_p(r,\theta)$ 로 바뀐다. 다음으로 대수-극 좌표계 영상  $I_p(r,\theta)$ 는 극 좌표계 모양적용 이산변환(PSADT:Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 따라 변환되어 변환 계수  $Z_p$ 가 발생된다. 이때  $Z_p$ 의 크기 성분은 좌표 변환과 PSADT를 통해 발생되므로 원본 영상  $I(x,y)$ 가 임의의 각도로 회전되거나 확대 또는 축소되더라도 변하지 않는 특성을 가지게 된다.

워터마크 신호는 이처럼 회전이나 영상의 크기 변화에 따라 변하지 않는  $Z_p$ 의 크기 성분에 삽입된다. 즉, 저작권자의 열쇠에 따라 준-랜덤 열(pseudo random sequence)  $X$ 를 워터마크 신호로 발생시키고 이를 변환 계수의 크기 성분에 더하게 된다. 이후 PSADT 역변환과 좌표 변환을 거쳐야만 워터마크된 공간영역 영상을 획득할 수 있는데, 이러한 좌표 변환 과정은 손실 과정이므로 PSADT 기법에서는 이러한 과정을 직접적으로 수행하지 않는다. 즉, 그림 1에서와 같이 마킹 신호 생성(mark signal generation) 과정에서는 키에 따라 만들어진 준-랜덤 열  $X$ 와 변환 계수  $Z_p$ 의 크기 값에 따라 원본 영상에 더해지는 신호 성분에 해당하는 변환 영역 값  $Y$ 를 구한다. 역과정(inverse processing)에서는 역변환과 직각 좌표계로의 변환을 통해 공간 영역에서의 신호를 만들고 이 신호는 원본 영상에 더해져 워터마크된 영상  $I_w(x,y)$ 가 생성된다. 이러한 방식을 통해 원본 영상의 좌표 변환에 의한 손실을 막을 수 있다. 보다 구체적인 워터마크 삽입 및 추출의 각 과정은

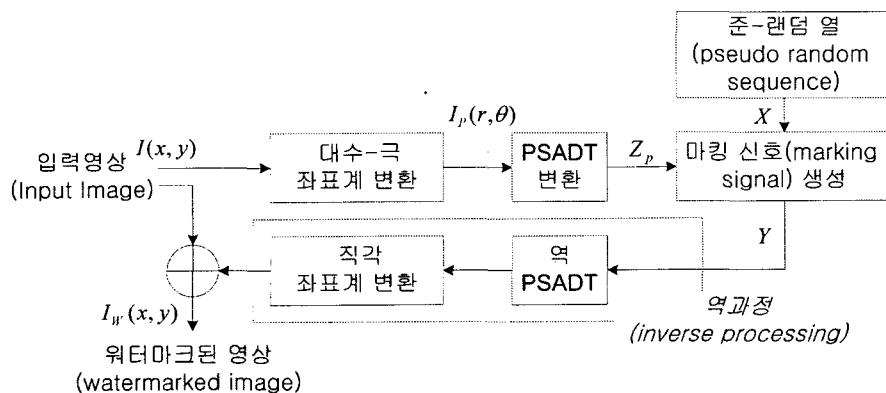


그림 1. PSADT에 기반한 워터마크 신호 삽입과정

참고문헌 [13]을 통해 얻을 수 있다.

PSADT에 기반한 기법은 대수-극 좌표계로의 변환과 PSADT 변환을 이용하여 기하학적인 공격에 영향을 받지 않는 변환계수를 구하고 이에 워터마크 정보를 삽입하므로 회전뿐만 아니라 크기 변화에도 완벽한 강인성이 제공된다[13]. 하지만 PSADT에 기반한 워터마킹 기법은 영상 객체의 모양이 유지되어야만 기하학적 공격에 대한 완벽한 강인성이 보장된다. 즉, 캐릭터 영상과 같이 임의의 모양을 가지는 영상 객체에서 그 모양 정보에 대한 왜곡은 전혀 없는 것을 가정한다. 이러한 특징으로 인해 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 형태의 영상에 적용하였을 경우 다음과 같은 문제가 발생한다.

먼저 그림 2의 (a)에서와 같이 전체 영상 영역에 워터마크 신호를 삽입하였을 경우 회전 공격에 의해 영상의 일부가 잘려져 나가고 영상의 일부는 의미를 가지지 않는 화소로 채워지게 된다. 따라서, 회전 공격이 가해졌지만 그 결과로써 영상의 잘려짐(cropping)과 치환이 발생하므로 객체의 모양이 유지되어야 한다는 전체 조건이 더 이상 적용되지 않는다. 한편, 이러한 문제를 해결하기 위해 사전에 약속된 영상 일부에 PSADT 방법을 적용하는 것 역시 문제점을 가진다. 예를 들어 그림 2의 (b)에서와 같이 영상의 중심에 원점을 둔 가상의 영역을 설정하고 워터마크 신호를 삽입하였다고 하자. 이러한 경우 회전 공격이 가해지더라도 워터마크가 삽입된 영역에 대한 모양 정보는 그대로 유지되므로 워터마크를 효과적으로

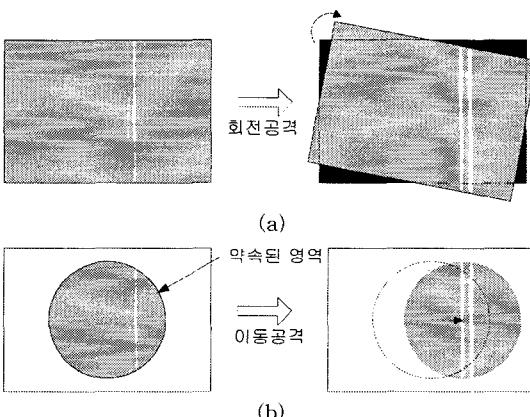


그림 2. PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반 사각형 영상에 적용할 때 발생하는 문제 : (a) 전체 영상에 PSADT 기법을 적용하는 경우, (b) 정해진 원영역에 PSADT 기법을 적용하는 경우

검출 할 수 있다. 하지만 전체 영상을 수평 방향으로 몇 화소 이동시켰을 때 워터마크는 더 이상 미리 약속된 위치에 존재하지 않게 되므로 워터마크를 검출 할 수 없게 된다.

워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하지 않는 기법이 가지는 문제점과 지금까지 언급한 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적 사각형 영상에 사용하기 어려운 이유는 모두 기하학적인 공격에 대하여 워터마크 정보의 정렬이 흐트러지기 때문이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 영상의 내재된 주요 특징을 이용하여 워터마크 신호를 정렬하는 기법을 제안한다. 임의의 공격에 의해 워터마크된 영상이 훼손당하더라도 그 영상에 포함된 주요 영상 구조는 항상 존재하게 된다. 영상 데이터가 제공하는 주요한 정보는 이러한 내재 구조에 포함되어 있으므로, 만약 이러한 내재 구조까지 공격에 의해 변형된 영상이라고 한다면 해당 영상의 상업적, 정보적 가치가 완전히 소멸되었다고 생각할 수 있다. 따라서 이러한 영상 내재 구조를 일관성 있게 추출해 볼 수 있는 방안이 있다면 워터마크 신호의 효과적인 정렬이 가능해진다. 이후의 장에서는 영상의 내재 구조인 코너를 이용하여 워터마크 신호가 삽입되고 추출될 영역을 결정하는 방법과 실제 선택된 영역에 PSADT에 기반한 기법을 효과적으로 적용하기 위한 방안을 차례로 기술한다.

### 3. 코너를 이용한 워터마크 신호의 정렬

그림 3은 다양한 공격에 대해서도 워터마크가 삽입되거나 추출될 영역을 일관성 있게 결정하기 위해 제안된 구조이다. 영상 단순화(image simplification)를 통해 구조적 특징을 분석하는데 불필요한 영상의 세부 신호는 제거된다. 다음으로 코너를 이용하는 영상 구조 분석(image structure analysis) 과정을 통해 현저점(salient point)들을 결정한다. 마지막으로 목표 영역 결정(target region decision) 단계에서는 이를 현저점을 이용해 워터마크가 삽입되거나 추출될 영역을 최종 결정하게 된다.

#### 3.1 영상 단순화(image simplification)

영상 단순화에서는 영상 구조 분석에 불필요한 세부정보, 잡음, 압축 공격 등에 의한 효과 등을 제거하

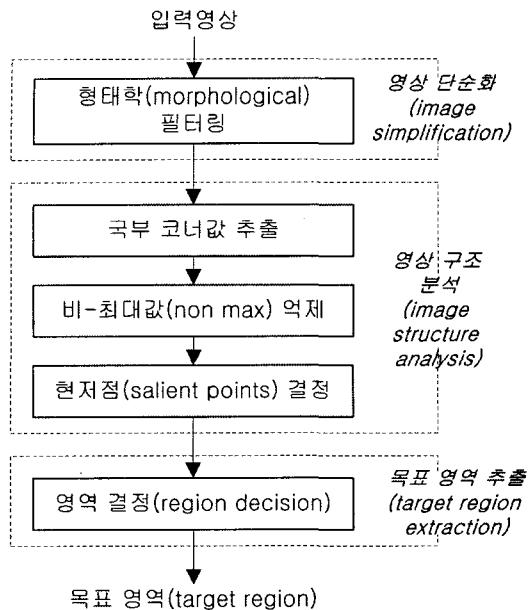


그림 3. 워터마크 신호 정렬을 위한 제안된 구조

게 된다. 이를 위해서는 특정 영역 내부의 잡음이나 신호변화는 완만하게 억제하되 영상의 구조를 반영하는 성분은 보존하여야 한다. 형태학 필터링(morphological filtering)은 순서 통계학을 이용한 기법(order-statistics approach)의 하나로서 미리 정해진 구조화 요소(structuring element)보다 작은 크기를 가지는 영역은 제거하되 상대적으로 큰 영역은 그 경계(edge)를 보존하기 때문에 영상 단순화에 매우 적합한 성질을 가지고 있다[14,15]. 제안된 기법에서는 재생에 의한 개시(opening by reconstruction of erosion)와 재생에 의한 종결(closing by reconstruction of dilation) 필터를 통해 단순화를 수행한다.

### 3.2 영상 구조 분석(image structure analysis)

영상 구조 분석에서는 영상에서 변하지 않는 안정적인 현저점을 얻기 위해 움직임 검출이나 추적 등에서 변하지 않는 특징점으로 이용되는 코너를 이용한다. 제안된 방법에서는 다양한 코너 검출 방법 중 간단하면서도 그 성능이 우수한 것으로 알려진 Plessey 알고리즘에 의한 코너 검출 기법을 이용한다[16]. 먼저 국부 코너값 추출(local corner value extraction) 과정을 통해 임의의 점  $(x_p, y_p)$ 에서의 코너값  $S(x_p, y_p)$ 를 다음과 같은 과정을 통해 얻는다.

1. 식 (1)에서와 같이 입력 영상  $I(x, y)$ 의  $x$ 축과  $y$ 축 방향으로의 경사도(gradient)  $I_x(x, y)$ 와  $I_y(x, y)$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} I_x(x, y) &= \frac{\partial}{\partial x} I(x, y) \\ I_y(x, y) &= \frac{\partial}{\partial y} I(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

2.  $(x_p, y_p)$ 에 위치한 각 화소에 대하여 가우시안(Gaussian) 가중합된  $\langle I_x^2 \rangle$ ,  $\langle I_y^2 \rangle$ ,  $\langle I_x I_y \rangle$ 을 식 (2)에서와 같이 구한다. 여기서  $\omega_{uv}$ 는 식 (3)에서 정의된 것과 같은 형태의 가우시안 가중치이다.

$$\begin{aligned} \langle I_x^2 \rangle(x_p, y_p) &= \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-M}^M \omega_{uv} I_x^2(x_p + u, y_p + v) \\ \langle I_y^2 \rangle(x_p, y_p) &= \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-M}^M \omega_{uv} I_y^2(x_p + u, y_p + v) \\ \langle I_x I_y \rangle(x_p, y_p) &= \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-M}^M \omega_{uv} I_x(x_p + u, y_p + v) I_y(x_p + u, y_p + v) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\omega_{uv} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(u^2 + v^2)\right) \quad (3)$$

3. 가중합된  $\langle I_x^2 \rangle$ ,  $\langle I_y^2 \rangle$ ,  $\langle I_x I_y \rangle$ 을 이용하여 식 (4)에서와 같이 행렬  $E$ 를 구성하고 이의 고유치(eigenvalue)  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ 를 구한다. 여기서 상대적으로 더 큰 고유치에 대한 고유벡터(eigenvector)는 가장 큰 경계(edge)가 존재하는 방향을 가리키게 되고, 대응하는 고유치는 그 경계의 세기를 표시하게 된다.

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle(x_p, y_p) & \langle I_x I_y \rangle(x_p, y_p) \\ \langle I_x I_y \rangle(x_p, y_p) & \langle I_y^2 \rangle(x_p, y_p) \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. 임의의 점  $(x_p, y_p)$ 에서의 코너값  $S(x_p, y_p)$ 은 식 (5)에서와 같이 결정된다. 여기서  $\kappa$ 는 코너의 성향을 결정하는 매개 변수이다.

$$S(x_p, y_p) \equiv \lambda_1 \lambda_2 - \kappa(\lambda_1 + \lambda_2)^2 \quad (5)$$

추출된 코너값  $S(x_p, y_p)$ 은 비-최대값 억제(non max suppression)를 통해 국부적으로 최대값을 가지는 위치에서만 그 값을 유지하게 된다.  $(x, y)$  위치에서의 비-최대값 억제된 구조값  $S_s(x, y)$ 는 식 (6)에서와 같이 표현될 수 있다. 즉, 억제 윈도우  $W_s$  내부의  $(x, y)$ 를 제외한 모든 코너값이  $(x, y)$ 에서의 코너값보다 작으면 코너값을 유지하고 그렇지 않으면 0으로 값이 억제된다.

$$S_s(x, y) = \begin{cases} S(x, y) & \text{if } S(x, y) \geq S(x', y'), \text{ for all } (x', y') \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

where  $(x' - x, y' - y) \in W_s$

비-최대값 억제된 코너값  $S_s(x, y)$ 는 정렬(sorting)되어 고유 순서를 지니게 되는데, 이때  $i$ 번째 크기를 가지는 위치의 억제된 구조값을  $S_s(x_i, y_i)$ 로 표기한다. 현저점 선택(salient points decision)에서는 최종적으로 워터마크가 삽입되거나 추출될 위치를 결정하기 위해 사용될  $N$ 개 화소의 위치를 선택한다.

### 3.3 영역 결정(region decision)

영역 결정 과정에서는 선택된 현저점을 토대로 워터마크 정보가 삽입되거나 추출될 영역을 결정하게 된다. PSADT에 기반한 워터마킹 기법은 임의의 모양을 가지는 영역에 적용할 수 있으므로 선택된 현저점을 토대로 임의의 모양을 선택할 수 있다. 하지만 선택된 영역이 원모양인 경우 대수-극 좌표계에서의 영상 해상도가 2" 형태가 되므로 PSADT 변환을 고속으로 수행할 수 있다. 본 논문에서는 PSADT 변환을 빠르게 수행할 수 있도록 식 (7)에서와 같이 원으로 영역을 결정한다.

$$\begin{aligned} x_{cen} &= \left\lfloor \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right\rfloor \\ y_{cen} &= \left\lfloor \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right\rfloor \\ r &= r_{pre} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $(x_{cen}, y_{cen})$ 와  $r$ 은 각각 원의 중심과 반경을 나타내며,  $r_{pre}$ 는 미리 약속된 원의 반경을 표시하는 상수값이다.  $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 가장 가까운 정수로 값을 변경하는 연산을 의미한다.

## 4. 워터마크 삽입과 추출과정

### 4.1 워터마크 삽입과정

3.3절에 설명된 영역 결정 방식은 결정된 원의 중심이 영상의 가장자리에 접근할 경우 그림 4의 (a)에서와 같이 원모양의 일부가 잘려나가는 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하는 방법은 워터마크를 삽입하거나 추출할 때 실제 영상이 존재하는 영역인  $R_A$ 만을 이용하는 방법과 잘려지는 영역  $R_B$ 에 값을

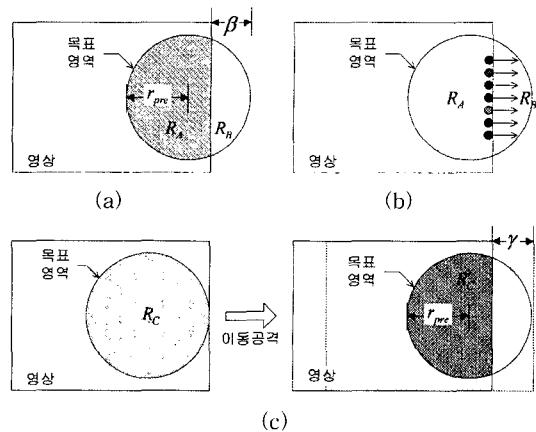


그림 4. 채워넣기(stuffing)의 필요성 : (a) 잘려진 목표영역, (b) 끝값 채워넣기(end-value stuffing), (c) 이동공격 후 목표영역의 모양 변화

채워서 원모양을 강제로 유지시키는 방법이 있을 수 있다.

먼저 영역  $R_A$ 만을 이용하는 방법은 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 영역  $R_A$ 에만 적용하게 되므로 삽입된 워터마크 신호가 완벽하게 영역  $R_A$ 에 포함된다. 하지만 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 적용할 때 원모양이 아니므로 고속 변환을 수행할 수 없는 단점이 생긴다. 또한 이러한 방식은 목표 영역이 그림 4의 (c)에서와 같이 영상의 경계에 인접할 경우 이동, 회전 등과 같은 기하학적 공격에 의해 워터마크 추출 시 영역의 모양이 변하게 되는 추가적인 문제점을 발생시킨다. 즉, 그림 4의 (c)에서와 같이 워터마크를 삽입한 영역  $R_C$ 가 영상 경계에 접해 있는 경우, 워터마크된 영상이 이동 공격을 받게 되면 워터마크를 추출하기 위해 선택된 영역이  $R_C$ 에서  $R'_C$ 으로 변하게 되어 PSADT에 기반한 기법을 통해 워터마크를 전혀 검출할 수 없게 된다.

다음으로 영역  $R_B$ 에 값을 채워서 워터마크가 삽입되거나 추출되는 영역의 모양을 원으로 강제 유지시키는 방법은 고속 변환을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 앞서 지적된 기하학적 공격에 의해 워터마크 추출 시 영역의 모양이 변화하는 문제를 피할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 워터마크 삽입 시 영역  $R_B$ 에 포함된 워터마크 정보가 자동으로 유실되는 문제점을 가진다. 즉, 워터마크 추출 시 영역  $R_B$ 에 삽입된 워터마크 정보는 존재하지 않음으로 인해 삽입된 워터마크의 존재 유무를 판단하기 위한 척도인 유사

도(similarity)가 다소 감소하게 된다. 그림 5는 채워 넣기(stuffing)를 통해 원모양을 유지하는 경우, 영역이 잘려지는 정도  $\beta/r_{pre}$ 에 따라 잔존하게 되는 유사도의 비율  $\eta_{loss}/\eta_{no\ loss}$ 을 실험적으로 보여주고 있다. 여기서 유사도는 PSADT에 기반한 기법에서의 정의와 동일하며,  $\eta_{no\ loss}$ 는 영역  $R_B$ 에 존재하는 워터마크 신호가 유실되지 않았을 경우의 유사도 값이고,  $\eta_{loss}$ 는 유실되었을 경우의 유사도이다. 원의 중심을 식 (7)에서와 같이 결정하게 되면 원 중심이 영상 밖에 존재할 수 없으므로  $\beta/r_{pre}$ 의 크기는 항상 0.5 이상이다. 따라서 채워넣기를 통한 유사도의 손실은 최악의 경우에도 15% 이하임을 알 수 있다. 따라서 이러한 손실이 존재하더라도 기학학적 공격에 대하여 워터마크 신호를 검출하기 위해서는 채워넣기를 이용해서 원모양을 유지시켜야 한다.

한편, 잘려진 영역에 어떠한 값을 채워 넣는가에 따라 성능이 달라질 수 있다. 잘려진 영역에 미리 정해진 고정된 값을 채울 수도 있고, 그림 4의 (b)에서와 같이 가장자리 값을 확장해 잘려진 영역을 채울 수도 있다. 이외에도 평균값, 대칭값 채워넣기 등의 다양한 방법이 존재할 수 있다. 이러한 채워넣는 방법에 대한 연구는 임의의 모양을 가지는 질감(texture) 정보의 부호화에서 이미 많은 연구가 있었다[17,18]. 하지만 질감 부호화에서는 변환계수의 고주파 성분이 가능한 적어야 압축률을 상승시킬 수 있기 때문에 이를 목표로 정보가 존재하지 않는 영역을 공간 방향으로 상관성이 큰 값으로 채우게 된다. 하지만 워터마킹에서는 변환계수에 워터마크 정보를 숨기는 것 이므로 고주파 성분의 감소보다는 워터마크 삽입과 검출 시의 변환계수가 변하지 않고 일정하게 유지되

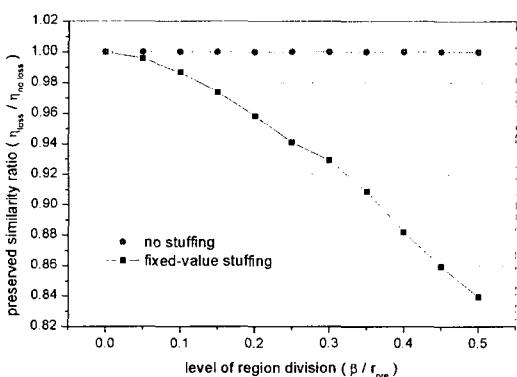


그림 5. 채워넣기에 의한 유사도의 잔존률 비교

는 것이 더 중요하다. 즉, 그림 4의 (b)에서와 같이 가장자리 값을 확장하는 방식은 공격에 의해 가장자리 값이 변하게 되었을 때 영역  $R_B$ 를 채우는 값이 워터마크 삽입 시와 추출 시 크게 달라지므로 워터마크 정보를 효과적으로 검출할 수 없게 된다. 이러한 여러 결과를 종합하여 제안된 기법에서는 선택된 원 영역의 일부가 잘려진 경우 미리 정해진 고정값을 채워넣는 방식을 사용한다. 이러한 방법은 잘려진 영역에 의해 다소의 워터마크 정보 손실이 발생하지만 수행 속도 및 다양한 공격에 대한 강인성 측면에서 보다 효과적이라고 할 수 있다.

#### 4.2 워터마크 추출과정

임의의 테스트 영상이 주어지면, 3장에서 설명된 워터마크 삽입 시와 동일한 영역 결정 방식으로 워터마크가 검출될 영역이 결정되고 이 영역을 기준으로 워터마크 정보를 검출하게 된다. 그런데, 워터마크 추출 시 공격에 의해 현저점의 위치가 다소 이동되어 영역 위치가 정확히 일치하지 않을 가능성이 있다. 식 (7)에서와 같이 각 현저점의 평균값을 이용하여 이러한 영향을 다소 줄일 수는 있지만, 여전히 오차가 발생할 가능성이 존재하고 이러한 오차는 그 정도가 심하지 않더라도 워터마크 정보와의 정렬을 깨뜨리기 때문에 워터마크 검출 시 매우 치명적인 요소로 작용할 수 있다. 실제 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 적용하는 경우 1회소 이상의 오차는 워터마크 정보를 거의 검출할 수 없게 작용한다.

따라서 공격에 의해 열화된 영상으로부터 얻어진 영역을 그대로 신뢰해서는 안되며 워터마크를 효과적으로 검출하기 위해서는 추가적인 과정을 수행할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 일정한 탐색 범위를 설정해 두고 탐색 범위 내의 모든 위치에서 워터마크를 검출하는 방안을 이용한다. 즉, 테스트 영상  $I_T$  내의 한 점  $(x_c, y_c)$ 를 중심으로  $w_{key}$ 에 해당하는 워터마크 정보를 검출해서 얻은 유사도  $\eta$ 가 식 (8)과 같이 표현된다고 하자. 이때 제안된 탐색을 통한 유사도  $\eta_s$ 는 식 (9)과 같이 표현될 수 있다. 여기서  $W_{search}$ 는 탐색 범위이다.

$$\eta = F_e(I_T(x_c, y_c), w_{key}) \quad (8)$$

$$\eta_s = \max_{(x,y) \in W_{search}} F_e(I_T(x, y), w_{key}) \quad (9)$$

## 5. 실험 결과

### 5.1 실험 환경

제안된 기법의 성능을 검증하기 위해  $256 \times 256$ 의 크기를 가지는 lena, girl, pepper, baboon, boat 등의 정지영상 30장을 이용하였다. 실험에서는 현저점의 수  $N$ 을 3, 비-최대값 억제 윈도우  $W_s$ 의 크기는 21로 하였다. 한편 Plessey 알고리즘을 이용한 구조값 추출 시 가중합을 구하기 위해 표준편차는 4,  $M=9$ 를 이용하였으며,  $\kappa$ 는 0.06을 사용하였다. 영역 결정 과정에서 워터마크가 삽입될 영역의 반지름  $r_{pre}$ 은 100으로 하였다. PSADT에 기반한 기법에서 대수-극좌표계에서의 해상도는  $N_r=512$ ,  $N_\theta=2048$ 로 하였고, 비가시성을 위한 매개 변수  $L$ 과 삽입 강도 계수  $\alpha$ 는 각각 1000과 0.2를 사용하였으며, 워터마크의 길이는 5000으로 하였다. 한편 워터마크 추출 시 탐색을 위한 윈도우의 크기  $W_{search}$ 는 5x5로 하였다.

그림 6의 (a)는 실험에 사용된 girl의 원본영상이고 (b)는 영역 결정을 위해 선택된 현저점의 위치를 단순화된 이미지 상에 표시한 것이다. (c)는 앞서 언급된 매개변수를 통해 각 영상을 워터마크한 후에 얻은 영상이며, (d)는 영상에 워터마크 정보로 더해진 신호를 증폭시켜 얻은 영상이다. 워터마크로 얻

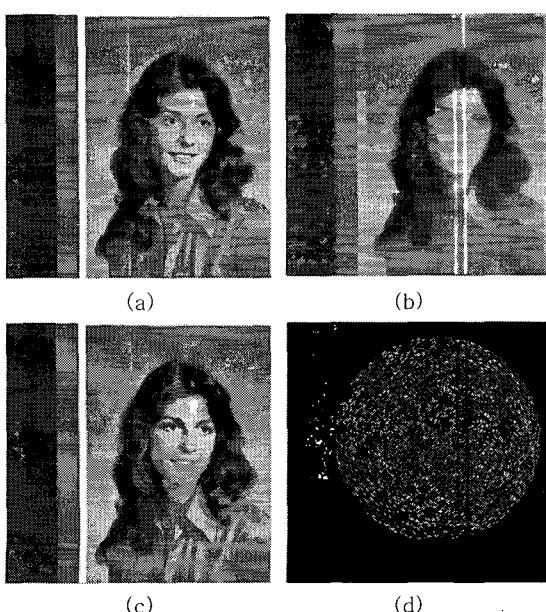


그림 6. 실험 영상 : (a) 입력영상, (b) 현저점, (c) 워터마크 된 영상, (d) 워터마크 신호로 더해진 신호

어진 girl 영상은 원 영상에 대해 48.7(dB)의 PSNR을 가진다.

### 5.2 JPEG 공격에 대한 성능

JPEG은 고의성을 가진 공격자 뿐 아니라 고의성이 없는 공격자에 의해서도 가해질 수 있는 대표적인 파형 공격의 하나이다. 그림 7에서는 JPEG 압축에 대하여 대역-확산에 기반한 대표적 기법들 중의 하나인 Barni에 의해 제안된 기법과 제안된 기법의 성능을 비교하고 있다[7]. 그림 7은 30장의 정지 영상에 대하여 JPEG 압축률의 변화에 따라 워터마크의 존재 유무를 판단하기 위한 척도인 유사도(similarity)의 평균이 어떻게 변화하는지를 도시하고 있다. 변환 계수를 구하고 이에 워터마크 신호를 훑어 뿌리는 대역-확산에 기반한 워터마킹 기법은 JPEG와 같은 파형 공격에 훌륭한 강인성을 제공하는 것으로 알려져 있다. 제안된 방법의 워터마크 삽입 시 이용되는 PSADT에 기반한 기법도 변환계수에 워터마크를 삽입하는 대역-확산에 기반한 방식이기 때문에 파형 공격에 대한 충분한 강인성을 제공한다. 그림 7로 부터 약 25배의 JPEG 압축에도 워터마크의 검출이 가능함을 알 수 있다.

그림 7에서 제안된 방식이 Barni에 의해 제안된 기존 기법에 비해 유사도가 다소 작게 나타난다. 이는 그림 6에 도시된 것처럼 제안된 방식은 동기총에 의해 선택된 원 영역에만 워터마크를 삽입하는 반면 Barni에 의한 방식에서는 상대적으로 더 넓은 면적을 가지는 영상 전체에 워터마크 신호를 삽입하기 때문이다. 한편 그림 7을 통해 워터마크 추출 시 탐색을 하지 않을 경우 고압축률에서 유사도가 상당히

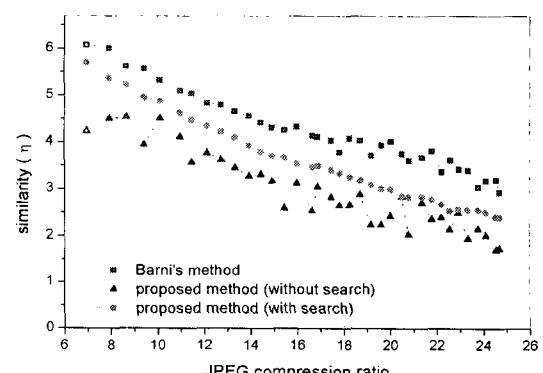


그림 7. JPEG 공격에 대한 성능

떨어짐을 알 수 있다. 이는 앞서 지적했던 것처럼 목표 영역 위치에 한 화소의 오차가 발생해도 유사도가 급격히 떨어지는 것과 관련한다. 즉, 고압축률에서 목표 영역의 위치에 소수의 오차가 발생하게 되는데, 이때 워터마크 검출 시 탐색을 수행하지 않으면 워터마크를 제대로 검출할 수 없는 것이다.

### 5.3 회전 공격에 대한 성능

그림 8은 제안된 기법의 회전 공격에 대한 유사도 변화를 도시하고 있다. 그림으로부터 회전 공격에 있어서도 제안된 탐색을 수행함으로써 보다 워터마크를 강인하게 검출할 수 있음을 알 수 있다. 실제 Barni에 의해 제안된 기법과 같이 기하학적 공격에 장인하지 않은 방법들은 그림 8에서와 같이 약 1°의 회전에도 워터마크 신호를 추출할 수 없을 정도로 유사도가 급격하게 떨어진다. 이는 시각적으로 크게 표시되지 않는 약 1°의 회전에도 영상의 정렬이 깨지기 때문이다. 반면 제안된 워터마킹 기법은 목표 영역에 회전 공격에 의해 영향을 받지 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 통해 워터마크를 삽입하므로 회전 공격에 대해서도 유사도가 유지되어 워터마크가 검출될 수 있음을 알 수 있다.

### 5.4 이동 공격에 대한 성능

그림 9는 이동 공격에 대한 제안된 워터마킹 기법의 성능을 도시하고 있다. 그림으로부터 Barni에 의해 제안된 기법은 2 화소 이상의 이동 공격이 가해졌을 경우 워터마크를 거의 검출할 수 없게 됨을 알 수 있다. 이러한 이동 공격은 인간 시각에는 거의 영

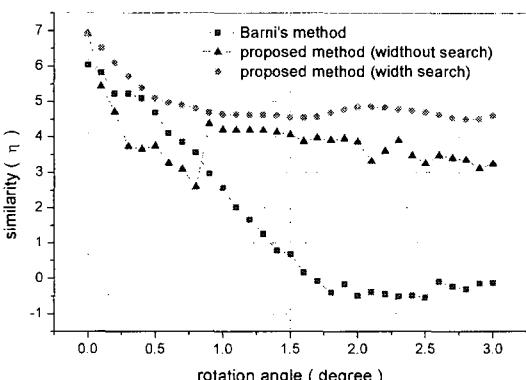


그림 8. 회전 공격에 대한 성능

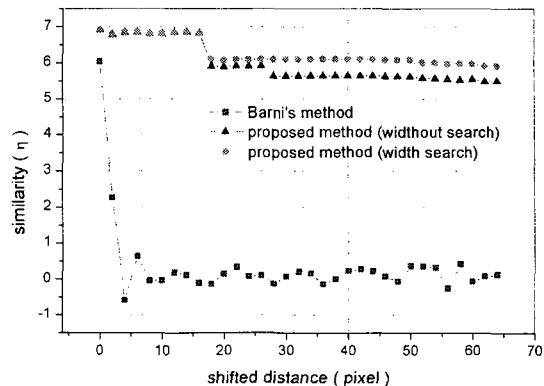


그림 9. 이동 공격에 대한 성능

향을 주지 않지만 워터마크의 정렬을 완전히 깨뜨리기 때문에 매우 치명적인 공격의 하나이다. 하지만 제안된 기법은 영상 구조를 통해 워터마크가 존재하는 목표 영역을 찾고 해당 위치에서 워터마크를 검출하게 되므로 이동 공격에 대한 장인성을 보장받을 수 있게 된다. 하지만, 제안된 방법도 임의의 이동 공격에 대하여 완벽한 장인성을 보장할 수는 없다. 이는 지나친 이동 공격이 가해졌을 경우 목표 영역을 결정하기 위해 존재해야하는 중요한 영상 구조가 사라지기 때문이다. 하지만 이러한 수준의 이동 공격은 영상의 정보를 크게 훼손하므로 반드시 워터마크 정보를 검출해내야 하는 공격 범주에 속하지 않는다고 할 수 있다. 왜냐하면 이러한 공격 수준은 영상의 상업적 가치를 거의 소멸시키기 때문이다.

## 6. 결 론

기존의 원본 영상을 사용하지 않는 워터마킹 기법이 가지는 이동, 회전과 같은 기하학적인 공격에 보이는 문제점을 해결하고 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 형태의 이미지에 사용했을 때 발생하는 문제점을 극복하기 위한 새로운 워터마킹 기법을 제안하였다. 본 논문에서는 영상에 내재된 특징을 이용하여 공격에 의해서도 일관성 있게 추출되는 영역을 통해 워터마크 신호를 정렬함으로써 이러한 문제들을 해결하였다. 공격에 의해 다소 변형된 영상으로부터 워터마크가 삽입될 안정적인 위치를 찾고자 하는 문제를 해결하기 위해 영상에서 변하지 않는 안정적인 특징인 코너를 이용하여 영역을 결정하였다. 아울러 워터마크 삽입 과정 시 PSADT에 기

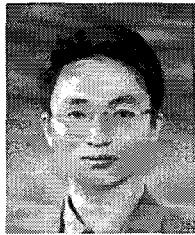
반한 워터마킹 기법을 선택된 영역에 적용하기 위한 고정값 채우기와 워터마크 추출 시 안정적인 검출을 위한 부분 탐색 방안들을 제시하였다. 실험 결과를 통해 제안된 기법이 JPEG 뿐만 아니라 기하학적인 공격에 대해서도 강인하게 워터마크 신호를 검출할 수 있음을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] A. Tirkel, G. Rankin, R. van Schyndel, W. Ho, N. Mee, and C. Osborne, "Electronic watermark," *Proc. DICTA 1993*, pp. 666-672, Dec. 1993.
- [ 2 ] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [ 3 ] J. Huang and Y. Q. Shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking," *Electronic Letters*, vol. 34, no. 8, pp. 748-750, Apr. 1998.
- [ 4 ] C-T. Hsu and J-L. Wu, "Hidden Digital Watermark in Images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [ 5 ] S. Burgett, E. Koch, and J. Zhao, "Copyright labeling of digitized image data," *IEEE Communication Magazine*, vol. 36, pp. 94-100, Mar. 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, Oct. 1998.
- [ 7 ] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking," *Signal processing*, vol. 66, pp. 357-372, May 1998.
- [ 8 ] M-S Hwang, C-C Chang, and K-F Hwang, "A Watermarking Technique Based on One-way Hash Functions," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 2, pp. 286-294, May 1999.
- [ 9 ] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Attacks on copyright marking systems," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1525, pp. 218-238, Apr. 1998.
- [10] D. Kirovski and F. A. P. Petitcolas, "Blind pattern matching attack on watermarking systems," *IEEE transaction on signal processing*, vol. 51, no. 4, pp. 1045-1053, Apr. 2003.
- [11] D. Kundur, C.-Y. Lin, B. Macq, and H.-H. Yu, "Enabling Security Technologies for Digital Rights Management," *Proceedings of the IEEE Special Issue on Enabling Security Technologies for Digital Rights Management*, vol. 92, no. 6, pp. 879-882, Jun. 2004.
- [12] F. Hartung and F. Ramme, "Digital Rights Management and Watermarking of Multimedia Content for M-Commerce Applications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 38, no. 11, pp. 78-84, Nov. 2000.
- [13] Y. H. Ko and S. D. Kim, "Polar coordinates shape adaptive discrete transform-based watermarking scheme for arbitrarily-shaped object," *Electronics Letters*, Vol. 37, Issue 22, pp. 1330-1331, October 2001.
- [14] P. Salembier and M. Pardas, "Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 3, No. 5, pp. 639-651, Sep. 1994.
- [15] L. Vincent, "Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 2, No. 2, pp. 176-201, Apr. 1993.
- [16] C. G. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *In 4th Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1998.
- [17] M. Gilge, T. Engelhardt, and R. Mehlan, "Coding of arbitrary shaped image segments based on a generalized orthogonal transform," *Signal Processing: Image Communication*,

vol. 1, no. 2, pp. 153-180, 1989.

- [18] S. J. Cho and S. D. Kim, "Texture Coding Using 2D-DCT Based on Extension/Interpolation," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics*, vol. 80, no. 4, pp. 789-794, Apr, 1997.



### 고 윤 호

1995년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사)

2002년 ~ 2004년 하이닉스반도체

System IC 사업부 선임연구원

2004년 ~ 현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 전임강사

관심 분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전, 워터마킹, 패턴인식, 영상시스템