

논문 2004-41SP-3-7

영상의 내재 구조를 이용한 2-계층 워터마킹 기법

(A two-layer watermarking method using inherent image structure)

고 윤 호*, 김 성 대**, 최 재 각***

(Yun-Ho Ko, Seong-Dae Kim, and Jae-Gark Choi)

요 약

본 논문에서는 워터마크를 훼손할 수 있는 다양한 공격을 크게 파형 공격과 동기 공격으로 구분하고 두 부류의 공격에 대해 특화된 방어를 수행하기 위한 2-계층 워터마킹 기법을 제안한다. 제안된 방법은 동기 공격에 대한 방어를 위한 동기층(synchronization layer)과 일반적인 파형 공격에 대한 표시층(marking layer)의 2-계층으로 구성된다. 동기층에서는 다양한 공격에 대해서도 일정하게 선택되는 목표 영역을 선정하고, 표시층에서는 해당 영역에 대역-확산에 기반을 둔 방식으로 워터마크를 삽입한다. 이러한 2-계층 워터마킹 기법을 사용함으로써 기존의 원본 영상을 사용하지 않는 워터마킹 기법이 가지는 이동, 회전과 같은 기하학적인 공격에 보이는 문제점을 해결할 수 있게 된다.

Abstract

In this paper, we classify various attacks that may damage the embedded watermark signal into waveform attack and synchronization attack. And for the specialized defense against the two kinds of attacks we propose a new watermarking scheme named as two layer watermarking method. It consists of a synchronization layer to prepare for the geometrical attack such as rotation and shift and a marking layer to embed the watermark signal actually. Namely, the synchronization layer only determines the target region where the watermark signal will be embedded or extracted. And the marking layer spreads the watermark signal over the image as the conventional watermarking methods do. Using the layered structure, the proposed method overcomes the problem that the conventional watermarking methods that do not use the original image at the verification side are most vulnerable to geometrical attacks.

Keywords: watermarking, watermark, synchronization layer, marking layer, two-layer watermarking

I. 서 론

최근 인터넷 등 네트워크 인프라의 급속한 확산과 더불어 멀티미디어 데이터의 보편화로 인해 저작권 보호 문제가 심각하게 대두되면서 디지털 영상 워터마킹에 대한 연구 결과가 다수 보고 되고 관련 회사들이 등장하고 있는 실정이다.

이러한 워터마킹 기법들을 분류하는 하나의 기준은 워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하는지의 여부이다. 우선 원본 신호를 사용하여 워터마크를 검출하는 부류가 있다^[1, 7, 9, 10, 11]. 이러한 방식은 원본 영상을 이용함으로써 워터마크 검출 시 방대한 데이터베이스로부터 원본 영상을 반드시 검색해내야 하며 원본 영상을 워터마크 검출자에게 반드시 노출 시켜야 하는 등 실질적인 응용에 있어서 많은 제한을 가진다. 또 다른 부류로 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 기법들이 있다^[2, 8, 12, 13]. 이러한 방식을 “blind” 방식이라고 부르기도 한다^[2]. 단, 이 기법들은 보통 원본 영상을 사용하는 방식에 비해 공격에 의해 워터마크가 쉽게 제거되는 단점을 가지고 있다.

이처럼 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 기법들의 견고성이 떨어지는 이유는 크게 두 가지

* 정회원, 하이닉스반도체 System IC SBU SP BU (System IC SBU SP BU Hynix Semiconductor Inc.)

** 정회원, 한국과학기술원 전자전산학과 (Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST)

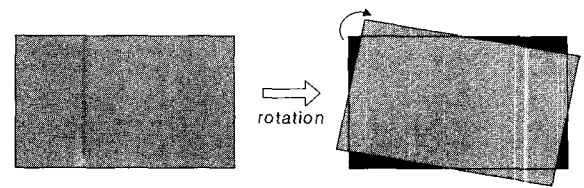
*** 정회원, 동의대학교 컴퓨터공학과 (Dept. of Computer Engineering, Dong-Eui University)

접수일자: 2002년9월12일, 수정완료일: 2004년4월23일

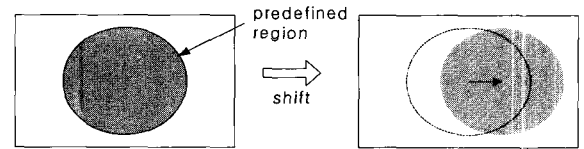
로 생각할 수 있다. 첫 번째 원인은 원본 영상에 대한 정보를 전혀 가지지 못하므로 원본 신호 자체가 워터마크 신호에 대한 잡음의 역할을 하게 되는 것이다. 즉, 검출 시 원본 신호를 사용하는 기법에서는 테스트 영상에 원본 신호를 제거해서 순수한 워터마크 신호만을 얻을 수 있지만 그렇지 않은 기법에서는 워터마크 추출 과정에서의 원본 신호는 단지 워터마크 정보에 대한 잡음의 역할을 하게 되는 것이다. 하지만, 이러한 문제는 대역-확산(spread spectrum)의 방식을 이용함으로써 상대적으로 견고성이 떨어지지만 극복되어 질 수 있다. 실제로 대역-확산을 이용한 방식은 JPEG과 필터링과 같은 공격에 대하여 워터마크 정보를 신뢰할 수준으로 검출해 낼 수 있다^[2, 12].

두 번째 원인은 원본 영상을 사용하지 않기 때문에 이동, 회전, 크기변화와 같은 기하학적인 공격에 대하여 대처할 방안을 전혀 가지지 못한다는 것이다. 이러한 기하학적 공격은 워터마크 정보 추출 시 워터마크 정보의 정렬(alignment)을 깨뜨리기 때문에 원본 영상을 사용하지 않는 기법에 치명적인 손상을 가하게 된다. 또한, 이러한 기하학적 공격이 가지는 더 큰 문제점은 공격에 의해 원본 영상의 정보가 거의 변화되지 않는다는 것이다. 예를 들어 워터마크 된 영상을 눈에 거의 보이지 않을 각도만큼 회전시켰을 때 해당 데이터가 가지는 정보에는 거의 변화가 없다. 따라서 원본 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하는 방법에서 이러한 기하학적인 공격에도 강한 기법의 개발은 워터마크 기술의 다양한 응용을 위해서는 반드시 풀어야 할 숙제라고 할 수 있다.

실제로 이러한 문제를 해결하기 위한 몇 가지 노력들이 있었다^[3-6]. 하지만 이들 방법들도 이러한 문제를 완벽하게 해결하지는 못한다. 먼저, LPM(Log Polar Mapping)을 이용한 방법은 이동 공격에 대해서도 강인하기 위해서는 상관성이 떨어지는 주파수 영역에서의 변환계수들을 LPM 변환해야 하는데 이 과정에서 발생하는 손실로 인하여 삽입되는 워터마크 신호의 강도와 추출시의 감도가 심각하게 떨어진다^[5]. 또한 자기 상관성(autocorrelation)을 이용한 방법은 공간 영역에서의 워터마킹 기법이므로 JPEG, 필터링과 같은 단순 공격에 쉽게 깨지는 단점을 가지고 있다^[6]. 한편 임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용하기 위한 모양적응 이산변환(PSADT : Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 기반한 워터마킹 기법이 제안되었다^[3-4]. 제안된 방법은 객체의 모양이 유지될 때 모든 회전과



(a) case of watermarking over all image



(b) case of watermarking on the predefined region

그림 1. PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 모양의 영상에 적용했을 때 발생하는 문제점
Fig. 1. The occurred problems for applying the object oriented watermarking method(PSADT method) to the common rectangular image

크기변화와 같은 기하학적인 공격에 대하여 완벽한 강인성을 제공한다. 그러나 모양적응 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 사각형 형태의 영상에 사용하려면 일부 해결해야 할 문제가 발생된다. 먼저 그림 1의 (a)에서와 같이 전체 영상 영역에 워터마크 신호를 삽입하였을 경우 회전 공격에 의해 워터마크 신호의 검출이 힘들어진다. 즉 그림 1의 (a)에서와 같이 회전 공격이 가해졌을 경우 영상의 일부가 잘려져 나가고 영상의 일부는 의미를 가지지 않는 화소로 채워지게 된다. 따라서 회전 공격이 가해졌지만 그 결과로써 영상의 잘려짐(cropping)과 치환이 발생하여, 워터마크가 삽입된 영역의 모양이 유지될 수 없게 한다. 한편, 이러한 문제를 해결하기 위해 사전에 약속된 영상 일부에 워터마킹 기법을 적용하는 것 역시 문제점을 가진다. 예를 들어 그림 1의 (b)에서와 같이 영상의 중심에 원점을 둔 가상의 영역을 설정하고 워터마크 신호를 삽입하였다고 하자. 하지만 전체 영상을 수평 방향으로 몇 화소 이동시켰을 때 워터마크 검출 시 미리 워터마크 정보와 정렬이 되지 않기 때문에 워터마크 정보를 검출할 수 없게 된다.

지금까지 언급한 워터마크 검출 시 원본 영상을 사용하지 않는 기법이 가지는 문제점과 PSADT에 기반한 워터마킹 기법을 일반적인 영상에 사용하기 어려운 이유는 모두 기하학적인 공격에 대하여 워터마크 정보의 정렬이 흐트러지기 때문이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 공격을 크게 파형 공격과 동기 공격으로 구분하고 각각의 공격에 대비하

기 위한 2-계층 워터마킹 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 다양한 공격을 동기 공격과 파형 공격으로 분류하고 이에 특화된 방어를 수행하기 위한 동기층과 표시층으로 구성된 2-계층 워터마킹 기법의 개념을 제안한다. 다음으로 III장에서는 영상의 내재된 구조를 이용한 동기층을 설명하고, IV장에서는 PSADT 기법을 이용한 표시층의 구조에 대하여 설명한다. V 장에서는 모의실험을 통하여 제안된 동기층이 워터마크가 검출되거나 삽입되는 목표 영역을 효과적으로 검출하는지를 보인다. 아울러 제안된 2-계층 워터마킹 기법이 기존의 방법들에 비하여 다양한 공격에 대하여 보다 우수한 성능을 가짐을 실증한다. 끝으로 VI장에서는 결론을 맺고 향후과제를 제시한다.

II. 2-계층 워터마킹 기법의 개념

1. 공격의 분류

워터마크를 훼손할 수 있는 다양한 공격에 대한 견고성은 워터마킹에서 중요한 요구 조건이다. 본 논문에서는 공격의 종류를 크게 파형 공격(waveform attack)과 동기 공격(synchronization attack)으로 구분한다.

- 파형 공격(waveform attacks) : 파형 공격은 영상 데이터의 기하학적인 형태는 바꾸지 않는 즉, 공격에 의해 해당 화소의 위치는 고정된 상태로 단지 화소값만을 변화시키는 일련의 공격으로 정의한다. 이러한 공격의 예로는 JPEG과 같은 손실 부호화와 각종 필터링, 잡음 첨가 등이 포함 된다.
- 동기 공격(synchronization attacks) : 동기 공격은 화소의 위치가 변화되는 일련의 공격으로 정의한다. 이러한 공격에는 영상의 이동(translation), 회전(rotation), 크기 변화(resizing), 잘려짐(cropping) 등이 포함 된다.

2. 2-계층의 구성 및 구현 방안

2-계층 워터마킹 기법은 두 부류의 공격에 대응하기 위해 두개의 계층을 이용한다. 이러한 계층 구조는 통신 프로토콜에서의 계층 구조에서와 같이 각 계층은 워터마크 정보의 삽입과 효과적인 검출을 위한 고유의 역할을 수행하게 된다. 각 계층에 대한 정의는 다음과 같이 내릴 수 있으며 그림 2는 이러한 계층 구조를 도시하고 있다.

- 표시층(marking layer) : 표시층에서는 실제 사용자

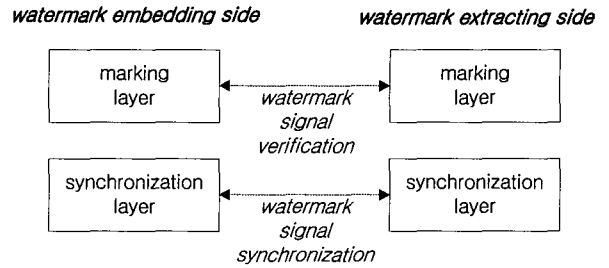


그림 2. 2-계층 워터마킹 기법의 개념
Fig. 2. The concept of the two-layer watermarking scheme

의 워터마크 정보를 삽입한다. 표시층에서는 워터마크가 제대로 정렬되었다는 전제하에 워터마크 신호를 삽입하거나 추출하는 역할을 수행한다.

- 동기층(synchronization layer) : 동기층은 표시층에서 삽입된 워터마크가 존재하는 위치에서 검출할 수 있도록 워터마크의 정렬을 수행하기 위한 일련의 과정을 수행한다.

그림 2에서와 같은 동기층을 구현하기 위해 본 논문에서는 영상의 구조적 특징에 기반한 방안을 제안한다. 제안된 동기층은 내재된 구조적 특징들 중 영상의 국부 밝기 분포를 이용하여 워터마크 신호가 삽입될 영역을 결정하고 표시층은 결정된 영역에 워터마크 신호를 삽입하게 된다. 그림 3은 영상의 내재 구조를 이용하는 2-계층 워터마킹 기법의 구조를 구체적으로 도시하고 있다.

그림 3에서 워터마크를 삽입하는 과정은 다음과 같다. 먼저 동기층의 영상 단순화(image simplification)에 의해 구조적 특징을 분석하는데 불필요한 입력 영상의 세부 신호는 제거된다. 내재된-구조 분석(inherent structure analysis)에서는 단순화된 영상을 이용하여 다양한 공격에 대하여 불변하는 영상의 구조적 특징을 분석하고, 목표 영역 추출(target region extraction)에서는 분석 결과를 토대로 워터마크가 삽입될 영역을 결정하게 된다. 세 단계를 가지는 동기층을 거쳐 목표 영역이 결정되면 표시층에서는 해당 영역에 워터마크 정보를 삽입한다. 한편 워터마크 추출 과정에서는 그림 3에서와 같이 삽입 과정의 동기층에서 거친 세 단계를 동일하게 반복해 워터마크가 삽입된 영역을 선택하게 된다. 이때 테스트 영상이 임의의 기하학적인 공격에 의해 변형되었더라도 영상의 구조적 특징이 손상되지 않았다면 동기층에 의해 결정된 영역은 삽입된 영역과 일치하게 되고 표시층에서는 해당 영역으로부터 워터마크 정보를 검출할 수 있게 된다.

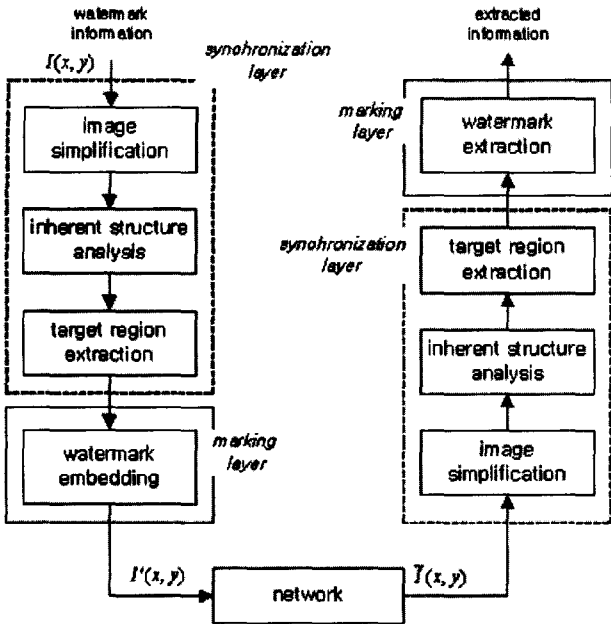


그림 3. 영상의 내재 구조를 이용한 2-계층 워터마킹 기법의 구조

Fig. 3. The block diagrams of two layer watermarking scheme using inherent image structure

III. 동기층 (The synchronization layer)

임의의 공격에 의해 워터마킹 된 영상이 훼손당하더라도 그 영상의 내재된 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 영상의 내재 구조를 이용하게 되면 워터마크가 존재하는 위치에 효과적인 정렬이 가능해진다. 본 논문에서는 이처럼 다양한 공격에 대하여 강인한 성격을 지니는 영상의 내재 구조를 이용하여 워터마크를 삽입하고 추출할 영역을 선택하는 동기층 설계 방안을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 그림 4와 같은 영상의 국부 내재 구조를 이용한 동기층을 제안한다. 그림 4에서와 같이 영상 단순화에 의해 입력된 영상으로부터 영상 구조를 분석하는데 있어서 불필요한 신호 성분들은 제거된다. 국부 영상 내재 구조 분석(local inherent image structure analysis)에서는 먼저 국부 구조값 추출(local structure value extraction)을 통해 영상의 국부적 구조를 수치화한다. 수치화된 구조값을 가지는 각 화소에 대하여 일정한 크기의 윈도우를 씌우고, 윈도우의 중심에 있는 구

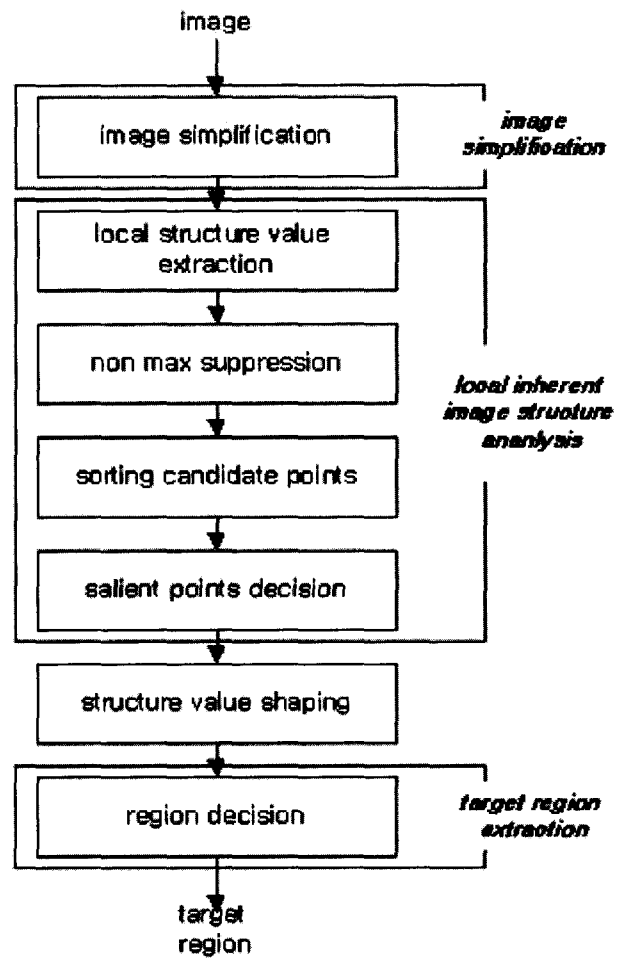


그림 4. 제안된 영상의 국부 내재구조를 이용한 동기층의 구조

Fig. 4. The block diagram of the proposed synchronization layer using local inherent image structure

조값이 윈도우 내에서 최대가 아닌 경우 해당 구조값을 소멸시킨다. 본 논문에서는 이러한 국부 최대값(local maximum)이 아닌 위치에서 구조값을 소멸시키는 과정을 비-최대값 억제(non max suppression)라 명한다. 다음으로 후보점 정렬(sorting candidate points)과 현저점 결정(salient points decision)에서는 각각 소멸되지 않은 구조값을 크기 순에 의해 정렬 한 후 영역 결정에 이용될 미리 정해진 수의 현저점을 선택하게 된다.

구조값 성형(structure value shaping)에서는 워터마크 정보를 추출 하는 측에서도 영상 신호의 변화에 상관없이 동일한 현저점이 선택되어 질 수 있도록 구조값을 적절히 변화시키는 역할을 수행한다. 끝으로, 영역 결정(region decision)에서는 선택된 현저점을 바탕으로 워터마크가 삽입되거나 추출될 영역을 선정한다. 다음의 소절들에서는 이러한 영상의 국부 내재 구조를 이용한 동기층의 각 세부 블록들의 기능을 구체적으로 살펴

본다.

1. 영상 단순화

영상의 내재 구조를 분석하는데 있어서 필요한 영상 구조는 변화시키지 않으면서 분석에 불필요한 세부정보, 잡음, 압축 공격등에 의한 효과 등을 제거하기 위해서는 영상의 단순화가 요구된다. 본 논문에서는 이러한 목표를 달성하기 위해 시그마 필터링에 의해 압축시 발생하는 블러화 현상을 제거한 후, 형태학 필터링에 근거해 세부정보를 단순화 하는 방식을 사용한다^[14-15].

형태학 필터링(morphological filtering)은 순서 통계학을 이용한 기법(order-statistics approach)의 하나로써 미리 정해진 구조화 요소 (structuring element)보다 작은 크기를 가지는 영역은 제거하되 상대적으로 큰 영역은 그 경계(edge)를 보존하기 때문에 영상의 내재 구조를 분석하기에 매우 적합한 성질을 가지고 있다^[14]. 그러나 압축 공격이 심하게 되었을 경우 영상내에는 블러화 현상(blocking artifact)이 발생하고, 이는 형태학 필터링에 의해 효과적으로 제거되지 못한다. 따라서 본 논문에서는 블러화 현상에 의한 불필요한 경계를 없애기 위해 적응적 평권을 이용하는 시그마 필터링(sigma filtering)을 추가적으로 이용하였다^[15]. 시그마 필터링은 윈도우 내의 중심 화소의 밝기값으로 부터 일정 범위 내에 존재하는 화소들만을 평균화 하는 방식이다.

2. 국부 구조값 추출

국부 구조값 추출 과정은 영상에 내재된 국부 구조를 이용한 동기층의 성능을 결정하는데 있어서 가장 핵심적인 기능을 하게 된다. 국부 구조값 추출에서는 단순화된 영상 $I_{sim}(x,y)$ 각 화소를 이동하면서 국부 윈도우 W_{local} 내의 영상 구조를 수치화하게 된다. 식 (1)은 이러한 과정을 나타내고 있다.

$$S(x,y) = L(I_{sim}(x,y)) \quad (x,y) \in W_{local} \quad (1)$$

여기서 $S(x,y)$ 는 (x,y) 위치에서의 구조값이다. 이러한 구조값 추출은 영상의 어떠한 정보를 이용하느냐에 따라 여러 가능한 방법들이 존재할 수 있다. 하지만, 구조값 추출 과정은 동기층의 기능을 수행하기 위해 아래의 조건들을 만족시켜야 한다. 먼저, 추출되는 구조값은 동기층의 효과적인 역할 수행을 위해 다양한 공격에 대하여 강인하여야 한다. 이러한 공격에는 파형 공격뿐 아니라 회전과 같은 동기 공격도 포함된다. 특히, 국부

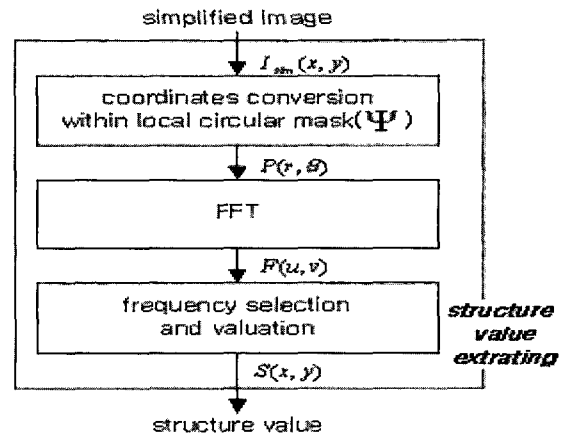


그림 5. 국부 밝기 분포를 이용한 구조값 추출 과정
Fig. 5. The schematic diagram of the structure value extraction using local intensity distribution

영역의 구조값을 추출하는데 있어서 해당 영역이 회전된 상태라도 동일한 구조값이 추출될 수 있어야 한다. 둘째, 특정 지점에서의 구조값이 크게 나타날 수 있도록 구별성이 있어야 한다. 예를 들어 강인성만을 고려하여 국소 영역내의 화소수를 구조값으로 하는 경우 영상 전체에 나타나는 구조값이 동일하게 나타나므로 영상의 구조를 효과적으로 분석할 수 없게 된다. 따라서 추출되는 구조값은 영상의 구조를 반영해 특정 지점에서의 값이 다른 지점에 비해 크게 나타나는 성향을 가져야 한다.

이러한 요구 조건들을 만족시키는 다양한 구조값 추출 방법이 가능하다. 본 논문에서는 구조값 추출 과정으로 국부 밝기 분포를 이용하는 방안을 제안한다. 이러한 방법은 어느 한 점 근처의 영상 화소값의 분포가 미리 정해진 분포 형태와 얼마나 유사한가를 수치화하는 것이라고 할 수 있다.

그림 5는 국부 밝기 분포를 이용하여 구조값을 추출하는 과정을 도시하고 있는데, 크게 원형 마스크(circular mask)내의 좌표를 변환하는 과정, 주파수 영역으로의 변환과정, 주파수 선정에 이은 수치화 과정으로 나누어 질 수 있다. 임의의 점 (x_p, y_p) 에서 단순화된 영상 $I_{sim}(x,y)$ 으로부터의 구조값은 다음과 같이 결정된다. 먼저 좌표 변환 과정(Ψ)에서는 식 (2)에서와 같이 (x_p, y_p) 를 중심으로 반경 R_{c_mask} 내의 화소들을 극좌표계 영상 $P(r,\theta)$ 의 형태로 바꾸게 된다. 식 (2)에서 L_r 과 L_θ 는 각각 극좌표계에서 방사상 방향으로의 해상도와 각도 방향으로의 해상도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
x - x_p &= \left(\frac{R_{c_mask}}{L_r - 1} r \right) \cos \left(\frac{2\pi}{L_\theta} \theta \right) \\
y - y_p &= \left(\frac{R_{c_mask}}{L_r - 1} r \right) \sin \left(\frac{2\pi}{L_\theta} \theta \right) \\
r &= \{0, 1, 2, \dots, L_r - 1\} \\
\theta &= \{0, 1, 2, \dots, L_\theta - 1\}
\end{aligned} \quad (2)$$

극좌표계로 변경된 원형 마스크내의 화소들은 식 (3)에서와 같이 2차원 주파수 영역으로 변환된다. 여기서 원형 마스크내의 국부 영상을 극좌표계로 옮기고 이를 순환천이 특성(circular shift property)을 가진 푸리에(Fourier) 변환 시켰기 때문에 발생하는 주파수 계수의 크기 성분 $F(u, v)$ 은 입력 영상이 회전되더라도 변하지 않게 된다. 제안된 구조값 추출 과정에서는 이러한 주파수 계수의 크기 성분을 이용한다. 국부 밝기 분포를 이용한 구조값은 식 (4)에서와 같이 변환된 주파수 계수로부터 특정 계수를 선정하고 이를 가중합 함으로써 얻어진다. 여기서, 가중치 α_{ij} 는 워터마크 신호와 같이 공격자가 알 수 없는 임의의 형태로 설정되어 질 수 있다. 본 논문에서는 실험의 편의성을 위해 식 (5)와 식 (6)에 따른 가중치를 이용하였다.

$$\begin{aligned}
F(u, v) &= \frac{1}{L_r L_\theta} \sum_{r=0}^{L_r-1} \sum_{\theta=0}^{L_\theta-1} P(r, \theta) \exp \left\{ -j2\pi \left(\frac{ur}{L_r} + \frac{v\theta}{L_\theta} \right) \right\} \\
u &= \{0, 1, 2, \dots, L_r - 1\} \\
v &= \{0, 1, 2, \dots, L_\theta - 1\}
\end{aligned} \quad (3)$$

$$S(x_p, y_p) = \sum_{u=0}^{L_r-1} \sum_{v=0}^{L_\theta-1} \alpha_{uv} |F(u, v)| \quad (4)$$

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } i = 0 \text{ and } j = 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } i = 1 \text{ and } j = 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

3. 비-최대값 억제 및 현저점 선택

추출된 구조값은 비최대값 억제를 통해 국부적으로 최대값을 가지는 위치에서만 그 값을 유지하게 된다. (x, y) 위치에서의 비-최대값 억제된 구조값 $S_{sup}(x, y)$ 는 식 (7)에서와 같이 표현되어 질 수 있다. 즉, 억제 윈도우 W_{sup} 내부의 (x, y) 를 제외한 모든 구조값이 (x, y) 에서의 구조값 보다 작으면 구조값을

유지하고 그렇지 않으면 0 으로 값이 억제된다.

$$\begin{aligned}
S_{sup}(x, y) &= \begin{cases} S(x, y), & \text{if } S(x, y) > S(x', y'), \text{ for all } (x', y') \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\
&\text{where } (x' - x, y' - y) \in W_{sup} \text{ and } x \neq x', y \neq y'
\end{aligned} \quad (7)$$

비-최대값 억제된 구조값 $S_{sup}(x, y)$ 은 정렬(sorting)되어 고유 순서를 지니게 되는데, 이 때 i 번째 크기를 가지는 위치의 억제된 구조값을 $S_{sup}(x_i, y_i)$ 로 표기한다. 현저점 선택(salient points decision)에서는 최종적으로 워터마크가 삽입될 위치를 결정하기 위해 사용될 N 개 화소의 위치를 선택하게 된다.

4. 구조값 성형

구조값 성형 과정은 특정 위치의 국부 구조값을 키우거나 줄여서 동기층이 영상의 다양한 공격에 대하여 보다 강인해지도록 입력영상을 수정하는 일련의 과정을 의미한다. 즉 그림 6에서와 같이 선택되어진 현저점을 키우거나 그렇지 않은 구조값을 줄이는 과정을 수행하게 된다. 이러한 과정은 식 (8)과 식 (9)에서와 같이 수식화되어 질 수 있다.

$$S_{shaping}(x_i, y_i) = \begin{cases} S_{sup}(x_i, y_i) + \mu_i & \text{for } i = 1, 2, \dots, N \\ S_{sup}(x_i, y_i) - \mu_i & \text{for } i = N+1, N+2, \dots, K \end{cases} \quad (8)$$

subject to

$$S_{shaping}(x_N, y_N) \geq S_{shaping}(x_{N+1}, y_{N+1}) + \tau \frac{S_{sup}(x_N, y_N) + S_{sup}(x_{N+1}, y_{N+1})}{2} \quad (9)$$

여기서 $S_{shaping}(x_i, y_i)$ 는 i 번째 크기를 가지는 비 최대값 억제된 구조값이 성형된 결과이다. 또한 μ_i 는 각 i 번째 크기의 구조값에 대한 성형 크기이며, τ 는 성형화된 (N) 번째 구조값과 (N+1) 번째 구조값이 만족시켜야 하는 성형 간격을 나타내는 변수이다.

이러한 구조값 성형 과정의 의미는 다음과 같다. 첫째, 선택되어지는 현저점과 그렇지 않은 구조값의 차이를 증가시켜 동기층에서 추출되는 N 개의 현저점의 구분을 확실하게 한다. 예를 들어 그림 6에서와 같이 선택되어지는 (N) 번째의 구조값과 선택되어지지 않는 (N+1) 번째의 구조값에 차이가 미약할 경우 단순한 공격에 의해 이러한 순서가 흐트러질 가능성이 높다. 식 (9)에서와 같은 성형 과정을 토대로 (N) 번째 구조값과

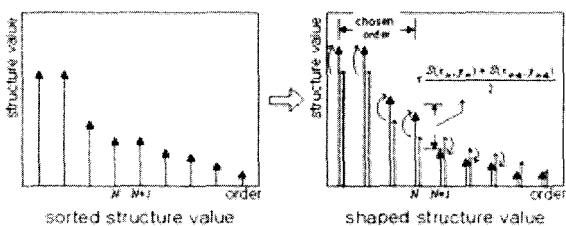


그림 6. 구조값 성형
Fig. 6. The shaping of structure value

(N+1)번째 구조값의 차이를 일정 수준 유지시켜 줌으로써 이러한 문제가 해결되어 질 수 있다.

두 번째 성형 과정의 의의는 공격에 의해 선택되어지는 현저점의 위치가 이동되는 현상을 줄일 수 있다는 것이다. 선택된 현저점의 위치를 토대로 워터마크가 삽입되거나 추출될 영역이 결정되므로 현저점의 위치가 공격에 의해 이동되어서는 안 된다. 하지만 구조값이 국부 최대인 임의의 위치에 인접한 화소는 일반적으로 국부 최대와 유사한 구조값을 가지게 된다. 따라서 공격에 의해 이러한 국부 최대 발생 위치가 다소 이동될 가능성이 존재한다. 만약 식 (8)에서와 같은 구조값 성형 과정이 수행된다면 일부 공격이 가해지더라도 이러한 국부 최대 발생 위치의 변동 가능성은 줄어들게 된다.

세 번째 의의는 성형 과정을 통해 워터마크를 삽입하는 축이 워터마크가 삽입될 영역을 선택할 부분적 권리를 얻을 수 있다는 것이다. 예를 들어, 그림 6에서의 (N)번째 대신 (N+1)번째 구조값을 증가시켜, 워터마크가 삽입될 영역을 일부 조절할 수 있다는 것이다.

영상의 국부 밝기 분포를 이용한 구조값을 사용하는 경우 그림 7에서와 같이 구조값 추출에 사용된 주파수 대역을 강화하거나 억제함(band enhancements and restraints)으로써 구조값을 성형할 수 있다. 즉, 식 (10)에서와 같이 현저점으로 선택되는 N개의 위치에서는 가중치 α_{uv} 에 따라 주파수 계수의 크기 성분을 증가시키고, 현저점으로 선택되어지지 않는 국부 최대값을 발생시키는 위치에서는 그 크기 성분을 감소시키게 된다. 식 (10)에서 $F(u, v)|_{(x_s, y_s)}$ 는 정렬 후 i번째 크기의 구조값을 가지는 위치에서의 변환 계수이고, N_s 는 성형되는 범위를 결정하는 매개변수이다.

$$F(u, v)|_{(x_s, y_s)} = \begin{cases} F(u, v)|_{(x_s, y_s)} + \frac{\bar{\alpha}}{2} \alpha^{uv} F(u, v)|_{(x_s, y_s)}, & \text{if } i = 1, 2, K, N \\ F(u, v)|_{(x_s, y_s)} - \frac{\bar{\alpha}}{2} \alpha^{uv} F(u, v)|_{(x_s, y_s)}, & \text{if } i = N+1, K, N+N_s \end{cases} \quad (10)$$

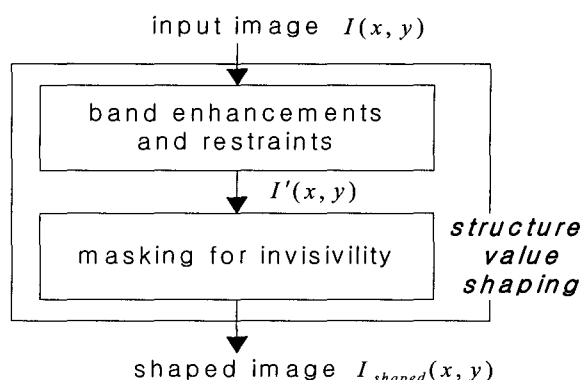


그림 7. 국부 밝기 분포를 이용한 구조값의 성형 과정
Fig. 7. The block diagram of the proposed shaping

성형된 변환 계수 $F'(u, v)|_{(x_s, y_s)}$ 는 식 (11)에서와 같이 역변환되고, 역변환된 극 좌표계에서의 화소값 $P'(r, \theta)$ 은 다시 직각좌표계로 변환되어 식 (12)에서와 같이 성형된 영상 $I(x, y)$ 이 얻어진다.

$$P'(r, \theta) = \sum_{u=0}^{L_r-1} \sum_{v=0}^{L_\theta-1} F'(u, v) \exp \left\{ j2\pi \left(\frac{ur}{L_r} + \frac{v\theta}{L_\theta} \right) \right\} \quad (11)$$

$$I'(x, y) = \Psi^{-1}(P'(r, \theta)) \quad (12)$$

하지만 밝기값이 대체로 평탄한 단순한 영상일 경우 $I'(x, y)$ 로부터의 성형 결과는 눈에 띌 가능성도 있다. 이러한 성형된 영상의 가시적 현상을 줄이기 위해 제안된 성형 과정에서는 식 (13)에서와 같이 가우시안 가중치를 적용해 중심으로부터 떨어질수록 성형화에 의한 효과를 줄이는 마스크를 이용한다.

$$I_{shaped}(x, y) = I(x, y) + \{ I(x, y) - I'(x, y) \} w_{x-x_s, y-y_s} \quad (13)$$

$$\text{where } w_{uv} = \frac{1}{2\pi^2 \sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(u^2+v^2)}$$

여기서 (x_s, y_s) 는 성형 과정이 수행되는 화소의 위치이다.

4. 영역 결정

영역 결정 과정에서는 선택된 현저점을 토대로 워터마크 정보가 삽입되거나 추출될 영역을 결정하게 된다. 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 표시층에 사용하게 되면 현저점을 토대로 다양한 모양을 가지는 영역을 선택할 수 있다. 예를 들어, 3개의 현저점이 이

용하여 각 현저점을 꼭지점으로 하는 삼각형, 4개의 점을 이용한 사각형 등의 영역이 가능하다. 본 논문에서는 선택 되어지는 영역을 원으로 제한한다. N 개의 현저점으로부터 원영역을 결정하는 방법은 다양하게 존재할 수 있는데 본 논문에서는 식 (14)에 따라 영역을 결정하였다.

$$\begin{cases} x_{cen} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right] \\ y_{cen} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right] \\ r = r_{pre} \end{cases} \quad (14)$$

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

이러한 원모양이 가지는 장점은 첫째 영역을 원으로 제한함으로써 표시층에서 사용될 변환 과정을 빠르게 수행할 수 있다는 것이다. 즉, 본 논문에서는 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 표시층에 적용하는데, 이때 원 모양이 아닌 모양을 가지는 영상에 모양적용 이산변환을 수행하기 위해서는 2^n 의 크기가 아닌 DCT나 DFT를 다수 수행해야 한다. 하지만 영역이 정확한 원 모양일 경우 각도 방향과 방사상 방향으로의 유효 화소수가 2^n 개의 형태로 유지할 수 있으므로 고속 변환을 수행할 수 있다.

다음으로, 원은 영역을 표시하는데 있어서 적은 수의 위치 정보만이 요구되므로 선택된 영역이 현저점의 위치 변화에 강인한 성향을 지닌다. 만약 앞서 언급한 바와 같이 3개의 점에 의해 결정되는 삼각형 영역을 이용할 경우 각각의 점이 공격에 의해 다소 이동 되었을 때 각 현저점의 이동이 영역의 모양에 많은 영향을 준다. 하지만 3개의 점을 이용하여 그 무게중심에 따라 원의 중심만을 결정하게 되면 각각의 현저점이 다소 이동되더라도 상관성이 없는 현저점간의 이동이 상쇄되어 영역의 모양에 더 적은 영향을 주게 된다.

IV. 표시층(The Marking Layer)

1. 표시층의 워터마크 삽입 과정

동기층에서 워터마크가 삽입되거나 추출될 영역을

결정하게 되면 표시층에서는 해당 영역에 워터마크를 삽입하거나 추출하게 된다. 동기층에서 현저점을 이용해 워터마크가 삽입될 영역의 위치 뿐 아니라 영역의 방향을 지정해 준다면 기존의 다양한 워터마킹 기법을 표시층에 사용할 수 있다. 하지만 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 표시층에 사용하게 되면 동기층에서 영역의 방향을 따로 지정해 줄 필요가 없을 뿐 아니라 임의의 모양을 가지는 영역에 적용이 가능하다. 아울러, 소수의 현저점을 이용해 영역의 방향까지 결정하게 되면, 공격에 의해 다소 오차가 발생할 가능성이 높은 각 현저점으로 인해 워터마크가 추출될 영역의 방향에 심한 오차가 발생할 수도 있다. 실제로 기존의 기법은 1° 정도의 각도 오차에도 워터마크를 검출할 수 없다. 따라서, 제안된 2-계층 워터마킹 기법에서는 표시층에 기존의 모양적용 이산변환(PSADT)에 기반한 워터마킹 기법을 사용한다.

PSADT에 기반한 워터마킹 기법은 임의의 모양을 가진 영상 객체에 적용가능하면서 동시에 객체의 모양이 유지되면 임의의 회전 공격이나 크기 변화와 같은 기하학적인 공격에 영향을 받지 않는다. 이 기법은 영상 객체의 무게 중심을 원점으로 임의의 모양을 가진 영상 객체를 방사상 방향으로의 해상도 N_r 과 각도 방향으로의 해상도 N_θ 를 가지는 대수-극 좌표계로 변환한 후에 PSADT 변환을 수행한다. PSADT 변환 과정에서 N_r 과 N_θ 가 2^n 의 형태이고 객체의 모양이 원인 경우 고속변환이 가능하다. 워터마크 신호는 이러한 변환 계수 Z_p 에 대역-확산에 기반한 방식에서와 같이 삽입되는데 이 과정은 식 (15)와 같이 표현되어 질 수 있다.

$$\left| Z'_{p,L+i} \right| = \left| Z'_{p,L+i} \right| + \alpha \left| Z'_{p,L+i} \right| x_i, \quad i=1,2,K,N \quad (15)$$

여기서, L 은 비가시성을 위한 계수이고 α 는 삽입강도이다. $Z_{p,i}$ 는 지그재그 주사 방식에 의해 1차원으로 배열된 i 번째 변환계수이고, x_i 는 워터마크 신호이다. 삽입된 워터마크 정보를 검출하기 위해서는 먼저 테스트 영상을 삽입에서와 같은 방식으로 좌표변환과 PSADT 변환 시킨다. 이때 발생된 변환 계수와 워터마크 신호와의 유사도는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \tilde{Z}_{p,L+i} \right| x_i \quad (16)$$

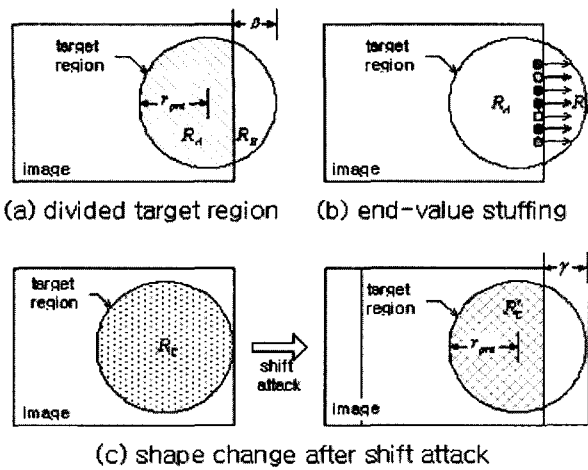


그림 8. 채워넣기의 필요성 (a)목표 영역의 잘림 (b)끝값 채워넣기 (c)이동 공격에 의한 영역 변화
 Fig. 8. The necessity of stuffing (a)The division of the target region (b)The end-value stuffing (c)The change of the target region by shift attack

III장 5절에서 언급한 바와 같이 제안된 2-계층 워터마킹 기법에서는 고속 변환 수행과 현재점의 오차에 대한 강인성을 위해 식 (14)에서와 같이 현재점들의 무게 중심에 의해 결정되는 중심과 미리 정의된 고정된 반지름 r_{pre} 을 가지는 원을 목표 영역으로 사용한다. 하지만 이러한 영역 결정 방식은 결정된 원의 중심이 영상의 가장자리에 접근할 경우 그림 8의 (a)에서와 같이 원모양의 일부가 잘려나가는 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하는 방법은 워터마크를 삽입하거나 추출할 때 잘려지는 영역 R_B 에 값을 채워 넣어서(stuffing) 원모양을 강제로 유지시키는 방법과 잘려지지 않은 영역 R_A 만을 이용하는 방법이 있을 수 있다.

채워넣기를 사용하지 않는 방식은 목표 영역이 영상의 경계에 인접할 경우 이동, 회전 등과 같은 기하학적 공격에 의해 영역의 모양이 변하게 되는 문제점이 발생하게 된다. 즉, 그림 8의 (c)에서와 같이 워터마크를 삽입한 목표 영역이 영상 경계에 접해있는 경우를 생각하자. 만약 이 테스트 영상이 이동 공격에 의해 목표 영역이 R_C 에서 R'_C 로 변하게 되면, 채워넣기를 사용하지 않는 방식은 워터마크 삽입 시와 추출 시의 워터마크 정렬이 불가능하게 되므로 유사도가 급격하게 떨어지게 된다.

채워넣기를 사용하는 방식은 원모양을 강제로 유지시켜 워터마크를 삽입하거나 추출하므로 워터마크 검출 시 그림 8의 (a)와 같이 목표 영역이 영상 경계에 인접하게 되는 경우 영역 R_B 에 해당하는 워터마크 정보를

다소 잃게 된다. 하지만 기하학적인 공격이 가해지더라도 채워넣기를 사용하는 방식은 기하학적 공격에 의해 유실되는 영역에 해당하는 워터마크 신호만이 없어지는 것이므로 공격에 의한 영향을 줄일 수 있다. 즉, 그림 8의 (c)에 해당하는 공격이 있더라도 유실되는 영역에 포함된 워터마크 신호는 사라지지만 잔존하는 영역에 있는 워터마크 신호의 정렬은 보장 받을 수 있게 된다. 아울러 채워넣기를 사용하는 방식은 어떠한 경우라도 원모양에 워터마크를 삽입하게 되므로 항상 고속 변환을 수행할 수 있는 추가적인 장점이 있다.

한편, 채워넣기 방식에서 잘려진 영역에 어떠한 값을 채워넣는가에 따라 성능이 달라질 수 있다. 잘려진 영역에 미리 정해진 고정된 값을 채울 수도 있고, 그림 8의 (b)에서와 같이 가장자리 값을 이용해 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^[16-18]. 질감 부호화에서는 변환 계수의 고주파 성분이 가능한 적어야 압축률을 상승시킬 수 있기 때문에 이를 목표로 정보가 존재하지 않는 영역을 공간 방향으로 상관성이 큰 값으로 채우게 된다. 하지만 워터마킹에서는 변환 계수에 워터마크 정보를 숨기는 것이므로 고주파 성분의 감소보다는 워터마크 삽입과 검출 시의 변환 계수가 변하지 않고 일정하게 유지되는 것이 더 중요하다. 예를 들어, 그림 8의 (b)에서와 같이 가장자리 값을 확장하는 방식은 밝기 값의 공간 방향 상관성은 증가시키지만, 공격에 의해 가장자리 값이 변하게 되었을 때 영역 R_B 를 채우는 값이 워터마크 삽입 시와 추출 시 달라지게 되므로 워터마크 정보를 효과적으로 검출할 수 없게 된다.

이상의 논의를 토대로, 본 논문에서는 2-계층 워터마킹 기법의 표시층에서 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.

2. 표시층의 워터마크 검출 과정

임의의 테스트 영상이 주어지면, 먼저 동기층에서 워터마크가 검출될 영역이 결정되고 표시층에서는 이 영역을 기준으로 워터마크 정보를 검출하게 된다. 그런데,

동기층에서 영역을 결정하기 위해 이용되는 현저점의 위치는 다양한 공격에 의해 그 위치가 다소 이동될 가능성이 있다. 식 (14)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. 따라서 공격에 의해 열화된 영상으로부터 얻어진 목표 영역을 그대로 신뢰해서는 안 되며 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 제안한다. 즉, 테스트 영상 I_T 내의 한 점 (x_c, y_c) 를 중심으로 w_{key} 에 해당하는 워터마크 정보를 검출해서 얻은 유사도 η 를 식 (17)과 같이 표현한다고 하자. 이때 탐색을 통한 워터마크 검출에 의한 유사도 η_s 는 식 (18)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 W_{search} 는 탐색 범위이다.

$$\eta = F_e(I_T, (x_c, y_c), w_{key}) \quad (17)$$

$$\eta_s = \max_{(x,y) \in W_{search}} F_e(I_T, (x, y), w_{key}) \quad (18)$$

V. 실험 결과

본 절에서는 제안된 국부 밝기 분포를 이용한 동기층이 다양한 공격에 대하여 효과적으로 목표 영역을 검출할 수 있는지를 모의 실험 하고 이를 분석한다. 다음으로 이러한 동기층을 이용하여 2-계층 워터마킹 시스템을 구성하였을 때 다양한 공격에 대하여 제안된 기법의 성능을 검증한다.

1. 동기층의 성능 검증

제안된 동기층의 성능을 검증하기 위해 256×256 의 크기를 가지는 lena, girl, pepper, baboon, zelda, boat 등의 정지영상 30장을 이용하였다. 모의실험에서는 현저점의 수 N 을 3, 비-최대값 억제 윈도우 W_{sup} 의 크기는 21, 성형화 매개변수 τ 는 0.4로 하였다. 한편 단순화 과정에서 시그마 필터링을 위해 각종 매개변수들을 각각 $n = m = 2$, $K = 7$, $\Delta = 2\sigma$ 로 설정하였으며 형

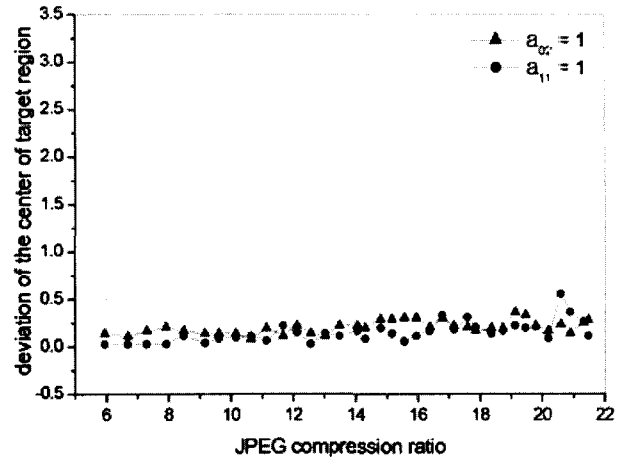


그림 9. JPEG 공격에 대한 동기층의 성능

Fig. 9. The performance of the synchronization layer against JPEG compression

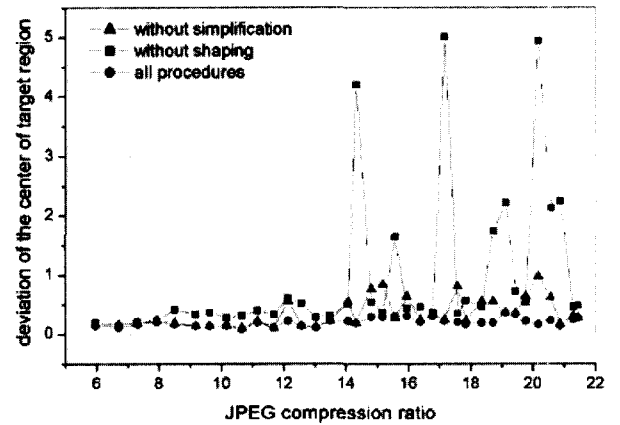


그림 10. 동기층에서 단순화와 성형화의 효과

Fig. 10. The significance of the image simplification and shaping procedures

태학 필터링을 위한 구조화 요소 M_n 는 9×9 를 이용하였다. 구조값 추출 과정에서 원형 마스크의 반경 R_{c_mask} 은 32, 방사상방향으로의 해상도 L_r 는 32, 각도 방향으로의 해상도 L_θ 는 128로 하였다. 성형 과정에서는 마스크를 위한 가우시안 가중치의 표준편차를 20으로 하였다.

동기층이 가져야할 요구 조건 중 다양한 공격에 대한 강인성은 표시층에서 워터마크를 정렬해서 추출하기 위한 가장 중요한 사항이다. 그림 9는 JPEG 압축률을 증가시킬 때 식 (14)에서와 같은 방법으로 선정된 원의 중심이 얼마나 압축전의 위치에서 이동되는지를 화소 단위로 표시하고 있다. 그림 9에는 각각 식 (5)와 식(6)에 따라 서로 다른 가중치를 사용하는 두 경우에 대한 결과가 도시되어 있다. 그림 9로부터 JPEG 공격에도 국부 밝기 분포를 이용한 동기층이 목표 영역을 안정적

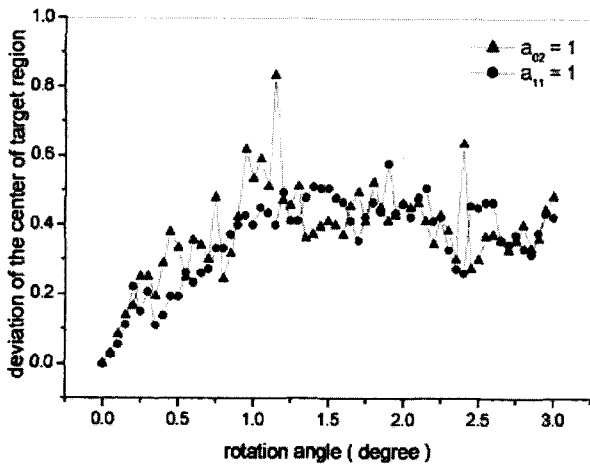


그림 11. 회전 공격에 대한 동기층의 성능
 Fig. 11. The performance of the synchronization layer against rotational attack

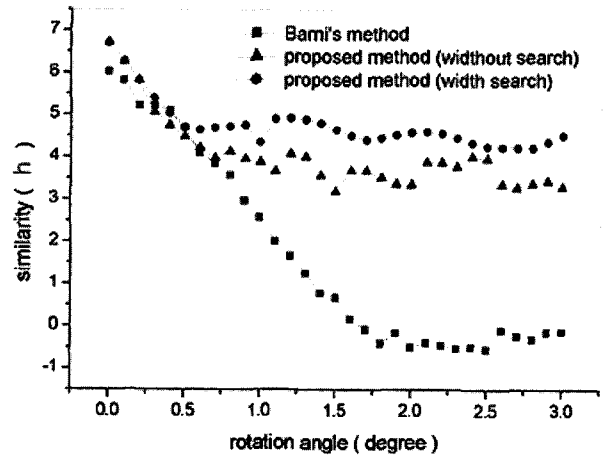


그림 13. 회전 공격에 대한 2-계층 워터마킹 기법의 성능
 Fig. 13. The performance of the two layer watermarking method against rotational attack

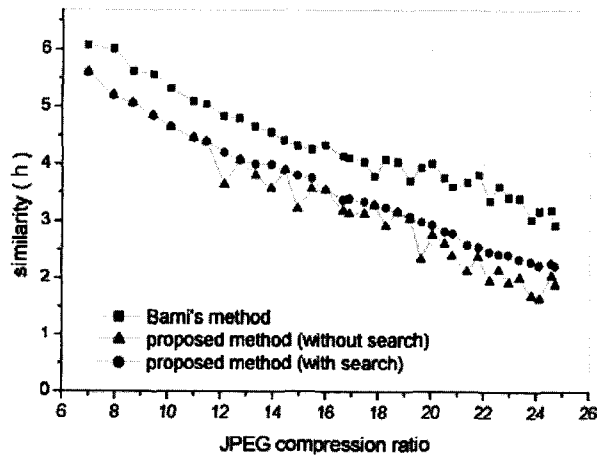


그림 12. JPEG 공격에 대한 2-계층 워터마킹 기법의 성능
 Fig. 12. The performance of the two layer watermarking method against JPEG compression

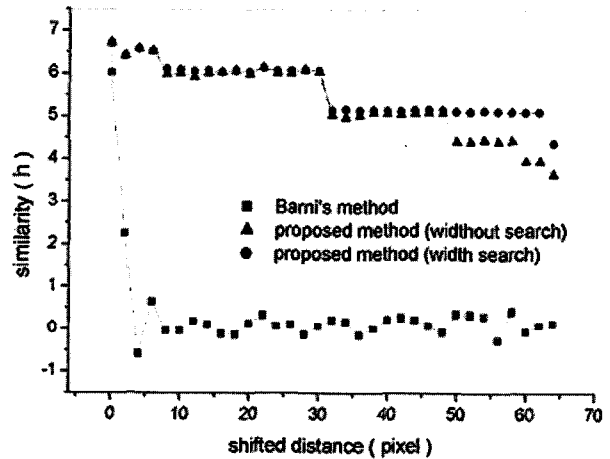


그림 14. 이동 공격에 대한 2-계층 워터마킹 기법의 성능
 Fig. 14. The performance of the two layer watermarking method against shifting attack

으로 검출함을 알 수 있다. 한편 제안된 단순화 과정과 성형 과정의 성능을 검증하기 위해 이러한 과정이 제외된 동기층이 JPEG 공격에 대하여 어떠한 성능을 보이는지를 실험하였다. 그림 10으로부터 제안된 단순화 과정과 성형 과정이 제외되면 추출되는 목표 영역에 오차가 증가함을 알 수 있다.

그림 11은 회전 공격에 대한 국부 밝기 분포를 이용한 동기층의 성능을 보여주고 있다. 여기서는 회전 공격전에 추출된 원의 중심을 회전된 크기만큼 이동 시킨 위치와 공격후에 추출된 원의 중심 위치를 비교하였다. 제안된 구조값 추출 과정은 회전 과정에 영향을 받지 않도록 설계되었으므로 회전 공격 후에도 그림 11에서와 같이 추출된 영역의 위치가 일정하게 유지된다.

2. 2-계층 워터마킹 기법의 성능

제안된 2-계층 워터마킹 기법의 전체 성능을 검증하기 위해 앞서 언급한 정지영상을 이용하였다. 목표 영역의 반지름 r_{pre} 은 100으로 하였다. 한편 표시층에서 워터마크 삽입을 위해 대수 극 좌표계에서의 해상도는 $N_r = 512$, $N_\theta = 2048$ 로 하였고, 비가시성을 위한 매개 변수 L 과 삽입 강도 계수 α 는 각각 1000과 0.2를 사용하였으며, 워터마크의 길이는 5000으로 하였다. 한편 표시층에서 워터마크 추출시 탐색을 위한 윈도우의 크기 W_{search} 는 5×5 로 하였다.

JPEG은 고의성을 가진 공격자뿐만 아니라 고의성이 없는 공격자에 의해서도 가해될 수 있는 대표적인 파형 공격의 하나이다. 그림 12는 JPEG 압축에 대한 제안된 2-계층 워터마킹 기법의 성능을 도시하고 있다. 변환

계수를 구하고 이에 워터마크 신호를 흩어 뿌리는 대역-확산에 기반한 워터마킹 기법은 JPEG과 같은 파형 공격에 훌륭한 강인성을 제공하는 것으로 알려져 있다. 제안된 방법의 표시층에서도 대역-확산에 기반한 방식을 사용하므로 파형공격에 대한 충분한 강인성을 제공한다. 그림 12로부터 약 25배의 JPEG 압축에도 워터마크의 검출이 가능함을 알 수 있다.

한편, 그림 12를 통해 워터마크 추출 시 표시층에서 탐색을 하지 않을 경우 목표 영역 검출 시 발생한 위치 오차에 의해 고압축률에서 유사도가 다소 떨어짐을 알 수 있다. 그림 12를 통해 이러한 문제점이 제안된 표시층에서의 탐색 과정을 통해 해결되어 질 수 있음을 알 수 있다.

그림 13은 2-계층 워터마킹 기법의 회전 공격에 대한 유사도 변화를 기존의 기법과 비교하고 있다. Barni에 의한 기존 기법은 약 1°의 회전에도 영상의 정렬이 깨지기 때문에 유사도가 급격하게 떨어짐을 알 수 있다. 하지만 제안된 2-계층 워터마킹 기법은 표시층에서 회전 공격에 의해 영향을 받지 않는 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법으로 워터마크를 삽입하므로 회전 공격에 대해서도 효과적으로 워터마크를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

그림 14는 이동 공격에 대한 2-계층 워터마킹 기법의 성능을 도시하고 있다. 기존 기법은 2 화소 이상의 공격이 가해졌을 경우 워터마크를 거의 검출할 수 없게 된다. 이러한 이동 공격은 인간 시각에는 거의 영향을 주지 않지만 워터마크의 정렬을 완전히 깨뜨리기 때문에 매우 치명적인 공격의 하나이다. 하지만 제안된 기법은 동기층을 이용해 워터마크가 존재하는 목표 영역을 찾고 해당 위치에서 워터마크를 검출하게 되므로 이동 공격에 대한 강인성을 보장 받을 수 있게 된다. 하지만, 제안된 방법도 임의의 이동 공격에 대하여 완벽한 강인성을 보장할 수는 없다. 이는 지나친 이동 공격이 가해졌을 경우 동기층에서 목표 영역을 결정하기 위해 존재해야 하는 중요한 내재 구조가 영상에서 사라지기 때문이다. 하지만 중요한 내재 구조가 사라진 영상은 그 상업적 가치가 소멸되었다고 볼 수 있다. 한편 제안된 방법은 이동 공격과 회전 공격을 동시에 가하더라도 영상에 포함된 중요 내재 구조가 사라지지 않는 한 워터마크 정보를 검출할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 기존 워터마킹 기법이 이동, 회전과 같은 기하학적 공격에 가지는 문제점과 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 사각형 모양의 일반적인 영상에 효과적으로 적용하기 위한 2-계층 워터마킹 기법을 제안하였다. 제안된 2-계층 워터마킹 기법은 동기 공격에 대비한 동기층과 워터마크를 실제 삽입하거나 추출하는 표시층으로 구성된다.

워터마크가 삽입되거나 추출될 목표 영역을 결정하게 되는 동기층을 구현하기 위해 영상의 내재된 국부 구조를 이용하는 동기층의 방안을 제안하였다. 제안된 구조는 영상을 단순화하는 과정, 영상의 내재된 구조를 수치화하는 과정, 이를 토대로 목표 영역을 결정하는 단계로 크게 구성된다. 한편 이러한 내재된 구조를 수치화하기 위해 영상의 국부 밝기 분포를 이용하는 방안을 제시하였다.

모의 실험을 통해 제안된 동기층이 목표 영역을 다양한 공격에 대하여 강인하게 결정할 수 있음을 보였다. 한편, 제안된 모양적용 이산변환에 기반한 워터마킹 기법을 표시층에 사용한 2-계층 워터마킹 기법이 다양한 공격에 대하여 기존 워터마킹 기법에 비해 우수한 성능을 가짐을 보였다.

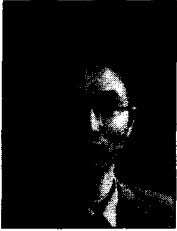
제안된 영상의 국부 내재 구조를 이용한 동기층은 영상의 어떠한 정보를 이용하여 구조값을 추출하는지에 따라 다양한 방법이 존재할 수 있다. 제안된 국부 밝기 분포를 이용한 구조값 이외에도 다양한 공격에 보다 강인한 새로운 구조값 추출 방법이 존재할 수 있다. 이러한 구조값 추출 과정은 공격에 대한 강인성외에도 계산량 측면에서의 성능 향상도 의의를 가질 수 있다. 따라서, 이러한 요구 사항들을 만족시키는 새로운 구조값 추출 방법에 대한 연구가 가능하다.

참고 문헌

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shanon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [2] 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.

- [3] Yun-Ho Ko, Seong-Dae 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.
- [4] 고유호, 윤병주, 이훈철, 김성대, 유상조, "임의의 모양을 가지는 영상 객체에 적용 가능한 극좌표계 모양적응 이산변환(PSADT: Polar coordinates Shape Adaptive Discrete Transform)에 기반한 워터마킹 기법," *대한전자공학회논문지*, 제 39권, SP편, 제 2호, pp. 96-106, 2002. 3.
- [5] P.-C. Su and C.-C. J. Kuo, "Synchronized detection of the block-based watermark with invisible grid embedding," in *Proc. SPIE Electronic imaging (Security and Watermarking of Multimedia Contents III)*, 2001.
- [6] J.J.K. Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking," *Signal Processing*, vol. 66, no. 3, pp. 303-317, May, 1998.
- [7] J. Huang, and Y. Q. Shi, "Adaptive image watermarking scheme based on visual masking," *Electronic Letters*, vol. 34, no. 8, pp. 748-750, April, 1998.
- [8] A. G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," in *Proceedings of ICIP*, vol. 3, pp. 231-234, Sept. 1996.
- [9] S. Burgett, E. Koch, and J. Zhao, "Copyright labeling of digitized image data," *IEEE Communication Magazine*, vol. 36, pp. 94-100, Mar. 1998.
- [10] 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.
- [11] Y-S Kim, O-H Kwon, and R-H Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," *Electronic Letters*, vol. 35, no. 6, pp. 466-468, March, 1999.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [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, Sept. 1994.
- [15] S. H. Jung, and N. C. Kim, "Adaptive image res-toration of sigma filter using local statistics and human visual characteristics," *Electronics Letters*, vol. 24, no. 4, pp. 201-202, Feb. 1988.
- [16] 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, April, 1997.
- [17] M. Gilge, T. Engelhardt, and R. Mehlman, "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-F. Chang, D. G. Messerschmitt, "Transform coding of arbitrary shaped image segments," *ACM Multimedia*, vol. 1, pp. 83-90, 1993.

저 자 소 개



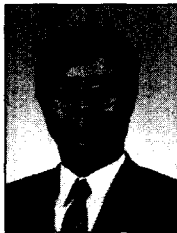
고 윤 호(정회원)
 1995년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 2002년 한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학전공 졸업(공학박사)

2002년~현재 하이닉스반도체 System IC 사업부 선임 연구원
 <주관심분야: 영상신호처리, MPEG-4, 영상시스템, 워터마킹, flash memory card 등>



최 재 각(정회원)
 1984년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1997년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년~1998년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1998년~2001년 경일대학교 조교수
 2001년~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 조교수
 <주관심분야: 영상부호화, 영상 분할, 워터마킹 등..>



김 성 대(정회원)
 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1983년 프랑스 INPT ENSEEIHT 졸업(공학박사)

1984년~현재 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 교수
 <주관심분야 : 영상처리, 영상통신, 컴퓨터비전, VLSI 구현 등.>