

컨투어렛 변환 기반의 다중 워터마킹 기법

김지훈[†], 이석환^{**}, 박승섭^{***}, 김지홍^{****}, 오세웅^{*****}, 서용수^{*****}, 권기룡^{*****}

요 약

본 논문에서는 컨투어렛 변환 영역 상에서 저작권 보호, 인증 및 변형 검출 등을 위한 다중 목적의 워터마킹 기법을 제안한다. 컨투어렛 변환은 웨이블릿 변환보다 다방향성의 에지 및 부드러운 윤곽선 검출 성능이 보다 우수하여 제안한 방법에서는 4 레벨 라플라시안 피라미드와 2 레벨 방향성 필터 뱅크를 이용한 컨투어렛 변환 영역 상에서 워터마크를 삽입한다. 먼저 제안한 방법의 첫 번째 단계에서는 저작권 보호를 위한 강인성 워터마킹 기법으로 워터마크 비트에 따라 원 패턴의 시퀀스를 생성하여, 이들 시퀀스 형태로 방향성 고주파 대역의 평균 계수 대역 내에 투영한다. 그리고 투영된 계수들의 분산 분포에 워터마크 비트를 각각 삽입한다. 그리고 두 번째 단계에서는 인증 및 변형 검출을 위한 준연약성 워터마킹 기법으로써, 최상위 레벨의 저주파 대역 내에 이진 워터마크 영상을 적응적 양자화기에 의하여 삽입한다. Checkmark 2.1를 이용한 평가 실험에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 강인성 및 비가시성이 보다 우수함을 확인하였다.

Multipurpose Watermarking Scheme Based on Contourlet Transform

Ji-Hoon Kim[†], Suk-Hwan Lee^{**}, Seung-Seob Park^{***}, Ji-Hong Kim^{****},
Seiwoong Oh^{*****}, Yong-Su Seo^{*****}, Ki-Ryong Kwon^{*****}

ABSTRACT

This paper presents multipurpose watermarking scheme in contourlet transform domain for copyright protection, authentication and transform detection. Since contourlet transform can detect more multi direction edge and smooth contour than wavelet transform, the proposed scheme embeds multi watermarks in contourlet domain based on 4-level Laplacian pyramid and 2-level directional filter bank. In the first stage of the robust watermarking scheme for copyright protection, we generates the sequence of circle patterns according to watermark bits and projects these patterns into the average of magnitude coefficients of high frequency directional subbands. Then the watermark bit is embedded into variance distribution of the projected magnitude coefficients. In the second stage that is the semi-fragile watermarking scheme for authentication and transform detection, we embed the binary watermark image in the low frequency subband of higher level by using adaptive quantization modulation scheme. From the evaluation experiment using Checkmark 2.1, we verified that the proposed scheme is superior to the conventional scheme in a view of the robustness and the invisibility.

Key words: Watermarking(워터마킹), Contourlet transform(컨투어렛 변환), Robust(강인성), Semi-fragile(준연약성)

* 교신저자(Corresponding Author) : 박승섭, 주소 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1(608-737), 전화 : 051)629-6000, FAX : 051)629-6210, E-mail : parkss@pknu.ac.kr
접수일 : 2009년 3월 20일, 완료일 : 2009년 5월 16일

[†] 준회원, 부산IT융복합연구소

(E-mail : utilfor@naver.com)

^{**} 정회원, 동명대학교 정보보호학과

(E-mail : skyllee@tu.ac.kr)

^{***} 종신회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

^{****} 정회원, 동의대학교 영상정보공학과

(E-mail : arim@deu.ac.kr)

^{*****} 정회원, 동의대학교 게임공학과

(E-mail : osw@deu.ac.kr)

^{*****} 정회원, 동서대학교 전자공학과

(E-mail : seoyong@dongseo.ac.kr)

^{*****} 종신회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

(E-mail : krkwon@pknu.ac.kr)

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술포진사업의 지역 혁신인력양성사업 및 2009년 Brain Busan 21 사업으로 수행된 연구결과임.

1. 서 론

최근 방송, 통신, 컴퓨터 등의 융합과 더불어 디지털 콘텐츠 산업이 21세기 지식 정보화 사회의 핵심적인 산업으로 떠오르면서 디지털 콘텐츠의 저작권 보호, 인증 및 검증에 대한 필요성이 대두되었다. 이와 같은 필요성에 의하여 디지털 워터마킹 기술이 90년대 초부터 지금까지 많은 연구진들에 의하여 다양하게 제안되어져 왔으며, 표준화 및 산업화에 응용되어지고 있다[1-9].

디지털 워터마킹은 저작자의 디지털 미디어 콘텐츠에 대한 소유권과 무결성의 검증을 주장하기 위한 소유 정보나 데이터가 워터마크로 삽입되어지는 것을 말한다. 이때, 삽입되는 워터마크는 시각적으로 인지되지 않는 비가시성(invisibility)을 가지고 있어야 한다. 또한, 영상에 대한 압축, 확대, 축소 및 포맷 변환 등과 같은 일반적인 영상처리 및 이동, 회전 및 확대 등의 기하학적 변형에도 워터마크가 존재해야 하며, 삽입되었던 워터마크를 추출하였을 때 소유권에 대한 비모호성(unambiguousness)이 만족되어야 한다. 그리고 콘텐츠가 법 또는 의학적 용도, 상업적인 용도로 사용되는 경우에 훼손되거나 수정되지 않았다는 것을 확인하는 방법으로 콘텐츠에 대한 인증을 수행하는 워터마크가 포함이 되어 콘텐츠 변경에 대하여 확인이 가능해야 된다.

지금까지 진행되어온 디지털 워터마킹 기법들 중, 웨이블릿 변환보다 다방향성 표현에 적합한 컨투어렛 변환 기반의 워터마킹 기법이 제안되어지고 있다. Mohan 등[6]은 4레벨의 LP(Laplacian pyramid)와 각 LP 레벨의 DFB(directional filter bank)에 의하여 1-3레벨에서는 8개의 방향성 대역과 4레벨에서는 4개의 방향성 대역과 저주파 대역으로 컨투어렛 변환을 수행한 후, 다중 표현 부호 기법 및 QIM(quantization index modulation) 기법에 의하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 JPEG 압축 및 필터링과 같은 일반적인 공격에는 강인하나, 회전과 같은 기하학적인 공격에 취약하며, 고주파에 대한 워터마크 검출시 오류가 발생하는 단점을 가진다. Song 등[7]은 컨투어렛 변환 기반의 LP 구조에 의하여 저주파 대역과 고주파 대역으로 분할한 후, 최상위 대역의 컨투어렛 계수들에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 기법은 각각 저주파

및 고주파 대역에 대한 영상 처리에 대하여 강인하나 기하학적 공격에 대하여 강인하지 못하다. Kumaran 등[8]은 워터마크된 영상 화질 및 강인성의 최적을 위하여 컨투어렛 변환 상의 유전 알고리즘 방법을 제안하였다. 즉, 이 방법에서는 평균 및 제로트리 기반의 유전 알고리즘 기반으로 워터마크를 삽입한다. 본 연구진은 컨투어렛 변환 상의 부대역 기반의 평균 계수 크기에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다[9]. 그러나 이 방법 또한 회전 및 확대에 대한 기하학적 공격에 대하여 강인하지 못하다.

본 논문에서는 컨투어렛 변환 기반에 저작권 보호 및 변형 검출을 동시에 만족하며, 회전 등의 기하학적 공격 및 일반 영상 처리에 강인한 워터마킹 기법에 대하여 논의하고자 한다. 따라서 제안한 방법에서는 컨투어렛 변환영역에서 저작권 보호 및 변형 검출을 위한 두 단계의 워터마킹 기법으로 구성된다. 첫 번째 단계로 컨투어렛 변환영역에서 방향성 부대역의 평균 크기를 가지는 계수들을 구하고 원 형태의 패턴을 사영하여 계수들에 대한 분산 값을 적응적으로 가변시키는 방법으로 워터마크 삽입한다. 또한, 원 형태의 패턴을 생성하는 과정에서 반지름을 워터마크 키로 생성하고, 이 키를 워터마크 검출 시에 사용한다. 따라서 워터마크 키로는 원본 데이터의 속성을 전혀 알 수 없으며, 분산 값에 대한 가변으로 일반적인 영상처리에 대한 강인성을 유지하면서 회전과 같은 기하학적인 변형에 대해서도 인증 및 위변조에 따른 변형 여부를 판단하기 위한 워터마크를 삽입한다. 그리고 다음 단계로 컨투어렛 변환영역에서 시각적으로 중요한 정보를 가지고 있는 저주파 영상에 적응형 양자화기를 설계하여 원본 영상의 특성을 분석하고 양자화 구간 간격을 결정하여 워터마크를 삽입한다. 이는 저작권 주장 및 변질 검증을 위한 워터마킹으로 영상의 조작 여부에 대한 유·무와 변형 위치를 검출 할 수 있다. 제안한 방법의 비가시성과 강인성의 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 특성을 가지는 실험 영상에 대하여 Checkmark 2.1 벤치마크 테스트에 근거하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 기존 방법에 비하여 비가시성 및 강인성이 우수함을 확인하였다.

본 논문의 구성으로 II장에서는 컨투어렛의 구조 및 기존의 컨투어렛 변환에서의 워터마킹 알고리즘에 대하여 살펴보고, III장에서는 제안한 컨투어렛 변

환 상의 다중 워터마킹 기법에 대하여 자세히 살펴본다. IV장에서는 제안한 방법의 비가시성과 강인성에 대한 실험결과 및 고찰을 정리하며, 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

2. 기존 이론

본 장에서는 컨투어렛 변환 이론과 이에 기반한 기존의 워터마킹 기법에 대하여 간략히 살펴보기로 한다.

2.1 컨투어렛 변환 이론

지금까지 영상 압축, 잡음 제거, 역상 등에 널리 활용되고 있는 웨이블릿 변환은 수평, 수직 및 대각선 방향에 대한 다해상도 신호로 분석할 수 있고, 빠른 변환과 편리한 트리 데이터 구조를 가질 수 있으므로 JPEG2000의 기본 변환 함수로 사용되고 있다. 그러나 웨이블릿 변환은 영상의 에지 점(edge points)에서의 불연속적으로 분리된 영상 표현에는 효과적이나 다해상도 구조에 따른 크기를 사용하여 부드러운 윤곽선을 효과적으로 표현하지 못한다. 또한 수평, 수직 및 대각선 방향의 정보 제한으로 인하여 세밀한 신호의 방향성 표현이 어렵다. 이와 같은 웨이블릿 변환의 문제점을 보완하기 위하여 부드러운 윤곽선 표현 및 다방향성 표현에 적합한 컨투어렛 변환 이론들이 제안되어졌다[10-12].

컨투어렛은 다해상도 정보와 다방향성 정보를 효율적으로 이용할 수 있는 라플라시안 피라미드(LP : laplacian pyramid)와 방향성 필터 뱅크(DFB : directional filter bank)로 이루어진 이중 필터 뱅크 구조로 구성되며, 이를 피라미드 방향성 필터뱅크(PDFB : pyramid directional filter bank)라고도 한다. 먼저 LP를 이용하여 기존의 웨이블릿과 같이 다중스케일 방식으로 영상을 주파수 대역별로 분할한

후, DFB를 이용하여 영상의 다방향성 정보를 얻는다. 이와 같은 컨투어렛은 웨이블릿에 비하여 자연영상의 주요 특징인 부드러운 윤곽선(smooth contour)을 효과적으로 표현할 수 있으며 영상의 국소적인 윤곽선 검출에 우수한 성능을 보인다.

LP에서는 오버샘플링이 발생될 수 있으나, 임계 샘플링되는 웨이블릿 변환과 달리 그림 2 (a)에서와 같이 각 피라미드 레벨에서 주파수 성분이 서로 섞이지 않는 독립적인 대역통과 영상을 발생시키는 장점을 지니고 있다. 즉, 웨이블릿 변환의 필터뱅크에서는 다운샘플링 후에 고주파 대역 채널과 저주파 대역 채널 간에 영상정보가 겹쳐질 가능성이 있으나, LP에서는 저주파 통과 채널만을 다운 샘플링 함으로서 주파수성분이 중첩되는 단점을 해결할 수 있다. 특히, 이러한 LP의 장점은 잡음이 있는 경우에 웨이블릿에 비해 우수한 결과를 가지고 있다.

방향성 필터 뱅크는 그림 2 (b)에서와 같이 췌기 모양의 주파수 분할을 갖는 2개의 부대역을 생성하는 l -레벨 이진 트리 분해(binary tree decomposition)에 의하여 구현된다. 이 방법에서는 그림 3 (a)와 같이 두 개의 빌딩블록으로 구성된다. 첫 번째 빌딩블록은 2차원 스펙트럼의 두 개의 수평, 수직 방향으로 나누는 팬필터(fan filter)를 갖는 2채널 quincunx 필터뱅크이고, 두 번째 빌딩블록은 영상의 샘플

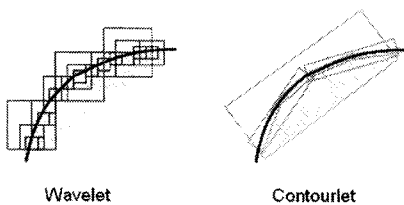


그림 1. 웨이블릿과 컨투어렛의 비교

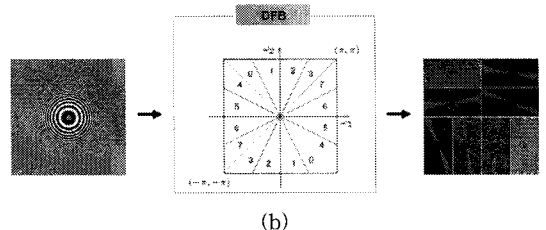
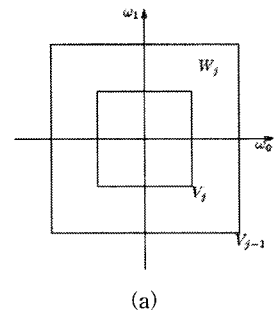


그림 2. (a) 라플라시안 피라미드의 주파수 분할 및 (b) 필터 뱅크의 주파수 분할 및 예

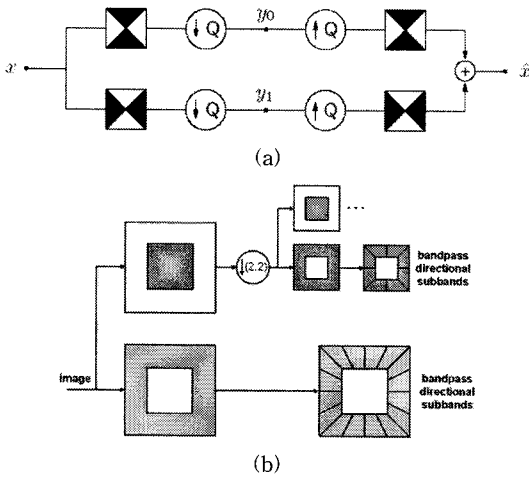


그림 3. (a) 2-채널 방향성 필터 बैं크와 (b) 컨투어렛 필터 बैं크의 구조

플들을 단지 순서를 맞추기 위한 전단연산자(shearing operators)를 이용한다. 즉, 2-채널 필터뱅크 전후에서 각각 한 쌍의 전단연산자를 더하고 그것의 역을 수행함으로써 완전 복구가 이루어지는 동안 다른 방향성 주파수 분할을 얻는다. 방향성 필터뱅크에서 중요한 점은 그림 2에서와 같이 원하는 2차원 스펙트럼 분할을 얻기 위하여 이진 트리 구조로 된 필터뱅크의 각 노드에서 quincunx 필터뱅크의 2방향 분할과 함께 적절한 전단연산자를 사용하는 것이다. 여기서, 방향성 필터뱅크는 $l=3$ 이며, $l'-8$ 개의 실제 채기 모양의 주파수 대역이 존재한다. 부대역 0-3은 대부분 수평방향에 대응하는 반면, 부대역 4-7은 수직방향에 대응한다.

컨투어렛 필터 बैं크의 구조는 윤곽선의 화질이 더욱 유동성 있게 표현 가능하기 위해 LP로 다중스케일 개념을 적용하여 영상을 주파수 대역별로 분할하고, LP로부터 얻어진 대역통과 영상에 대해 DFB를 적용함으로써 그림 3 (b)와 같은 이중 필터 बैं크의 구조를 갖는다.

컨투어렛 변환에 의하여 다해상도로 분해된 LENA 및 PEPPERS 영상들은 그림 4에서와 같다. 그림 4 (a)는 LENA영상을 4번의 LP와 각 2번 3번 4번의 DFB를 적용시킨 영상이며, 그림 4 (b)는 PEPPERS 영상을 4번의 LP와 2번의 DFB를 적용시킨 영상이다. 본 논문에서는 컨투어렛 변환에 의하여 다해상도로 분해된 부대역내의 계수에 워터마크를 삽입한다.

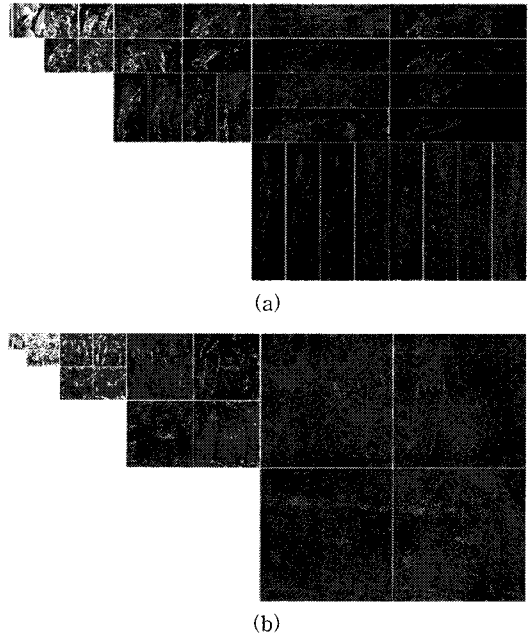


그림 4. 컨투어렛 변환에 의하여 다해상도로 분해된 (a) LENA 및 (b) PEPPERS 영상

2.2 기존 컨투어렛 워터마킹 기법

본 절에서는 제안한 기법과의 비교 실험을 위해 Mohan 등[6]의 기법에 대하여 알아보기로 한다. 이들은 4레벨의 LP와 각 LP 레벨에서 2, 3, 3레벨의 DFB로 1~3레벨에 각 8개의 방향성 대역과 4레벨에서는 4개의 방향성 대역과 저주파 대역으로 컨투어렛 변환을 한다. 그리고 원본 영상이 필요 없는 블라인드 기법으로서 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

이들의 기법에서는 워터마크 삽입을 위하여 다중 표현 코딩(MDC : multiple description coding)기법과 Chen 등[13]이 제시한 양자화 색인 변조(QIM : quantization index modulation) 기법을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 즉, 이들은 먼저 MDC 기법에 의하여 원 영상을 홀수(odd)와 짝수(even)로 분할한다. 분할된 영상에 대해 각각 컨투어렛 변환을 한 후, $i \times j$ 의 대역 크기를 갖는 최상위 고주파 방향성 대역 중 에너지 E 가 가장 큰 대역을 워터마크 삽입 대역으로 선택한다.

$$E = \sum_i \sum_j |d_k^i(i, j)|^2 \tag{1}$$

이때, d_k^i 는 DFB를 통과한 대역을 나타내며, LP의 레

벨 l 은 4이고, k 는 E 가 가장 높은 방향성 대역을 나타낸다. 워터마크는 아래 (2) 식에 의하여 반복적으로 삽입된다.

$$d_{k,odd}^l(i,j) = \begin{cases} d_{k,even}^l(i,j) \times \alpha_1, & \text{if } w = 1 \\ d_{k,even}^l(i,j) \times \alpha_2, & \text{else } w = 0 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 α_1 과 α_2 는 삽입강도로 $\alpha_1 > 1$, $\alpha_2 < 0.9$ 의 조건을 만족하며, Mohan 등은 $\alpha_1 = 1.2$, $\alpha_2 < 0.9$ 를 사용하였다. 또한 이들은 저주파 계수에 대하여 QIM 기법을 적용시켜 워터마크를 삽입한다. 이와 같이 Mohan의 방법에서는 단순히 고주파 영역과 저주파 영역에 워터마크를 삽입함으로써 JPEG 압축, 필터링과 같은 일반적인 공격에 견고한 장점을 가진다. 그러나 워터마크 검출 시 회전과 같은 기하학적인 공격에 취약한 단점을 가지고 있으며, Stage 1을 적용한 후 다시 컨투어렛 변환을 수행하여 Stage 2를 적용하므로, 고주파에 대한 워터마크 검출시 오류가 발생한다.

3. 제안한 컨투어렛 워터마킹

본 논문에서는 디지털 영상의 저작권 보호 및 인증 및 변형 여부를 위한 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 그림 5에서와 같이 우선 원 영상을 4레벨의 LP와 각 LP레벨 마다 2레벨의 DFB로 컨투어렛 변환을 수행한 후, 두 단계에 의하여 워터마크를 각각 삽입한다.

먼저 stage 1에서는 저작권 보호 및 소유권 주장을 위하여 강인하게 워터마크를 삽입하는 것으로, 1레벨의 LP에서 얻어지는 방향성 성분을 가진 모든 부대역의 계수들에 대한 평균 크기 계수 (ASMV, average subband of magnitude values)을 구한다. 그런 다음 원의 패턴에 투영되는 ASMV의 분산을 적

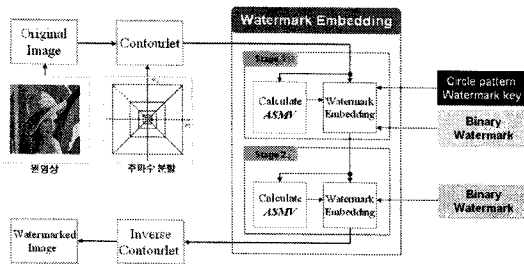


그림 5. 제안한 워터마크 삽입 블록도

용적으로 가변하여 워터마크를 삽입한다. stage 2에서는 인증 및 변형 검출을 위하여 준연약하게 워터마크를 삽입하는 것으로, LP의 최상위 레벨의 저주파 영상에 대한 적응형 양자화기를 설계하여, 이들 양자화 계수에 워터마크를 삽입한다. 이때, 양자화 구간 간격은 4레벨의 LP에서 2레벨의 DFB를 통과한 모든 방향성 부대역에 대한 ASMV에 의하여 결정된다.

워터마크 추출 과정에서는 stage 1의 최고주파 대역에 대한 자기 참조기법을 이용하여 워터마크를 추출하여 인증 및 그 변형 여부를 판별하며, Stage 2의 저주파 대역에 삽입된 워터마크를 추출함으로써 저작권 정보 및 변형검출을 시작적으로 감지한다.

3.1 워터마크 삽입

본 논문에서는 컨투어렛 변환 영역에서 다중 워터마킹 기법을 제안한다. 먼저 제안한 방법에서는 그림 6에서와 같이 영상을 4-레벨 LP와 각 LP 레벨에서 2-레벨 DFB로 컨투어렛 변환을 하여 다해상도로 분해한다. 그림 상에서 c^l 는 최상위 레벨로 LP 필터를 통과한 저주파 대역이다. 이 때 멀티스케일 분해는 4-레벨로서 $l=1,2,3,4$ 를 가지는 다중스케일 레벨로 정의한다. 그리고 d_k^l 는 방향성 부대역으로, $k=1,2,3,4$ 에 의하여 부대역 위치를 나타낸다.

앞 절에서 살펴보았듯이, 영상을 수직, 수평 및 대각선의 대역별로 분해하는 웨이블릿과 달리 컨투어렛 변환에서는 각각의 대역별 방향성분을 세분화함으로써 보다 많은 방향성 정보를 산출할 수 있다. 따라서 제안한 방법에서는 l 레벨에서 방향성 성분을 가진 부대역 내의 평균 크기 계수 ASMV를

$$ASMV(u,v) = \frac{|d_1^l(u,v)| + |d_2^l(u,v)| + |d_3^l(u,v)| + |d_4^l(u,v)|}{4} \quad (3)$$

와 같이 얻는 다음, 이 평균 크기 계수를 이용하여

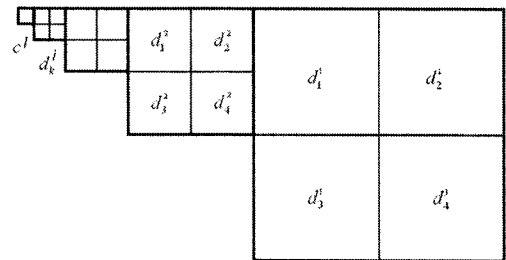


그림 6. 컨투어렛의 다해상도

각각의 Stage 1과 Stage 2에서 워터마크를 삽입한다.

Stage 1의 단계에서는 기하학적 공격에 강한 패턴 워터마크를 삽입하기 위하여 워터마크를 원 패턴으로 평균 크기 계수 $ASMV$ 에 투영한 다음, 원 패턴에 해당되는 분산을 비가시성을 만족하는 범위 내에서 변화한다. 즉, 이 단계에서는 그림 7에서와 같이 K 비트를 길이를 가지는 워터마크 비트열 $W_1 = \{w_i \in \{0,1\} | i \in [1, K]\}$ 을 임의의 반지름 r_i 을 가지는 원 시퀀스 $P = \{P_i | i \in [1, K]\}$ 로 변화한다. 이때, 원 패턴의 반지름 $r_i (i \in [1, K])$ 은 워터마크 키로 사용된다. 그리고 생성된 원 패턴을 평균 크기 계수 $ASMV$ 부대역에 투영하여 각 원 패턴의 구간 S_i 에 해당되는 계수들을 각각 추출한다. 그런 다음, 각 구간 S_i 에 대한 계수 평균 X_i 및 분산 $V(S_i)$ 과

$$X_i = E(S_i), V(S_i) = E((S_i - X_i)^2) \quad (4)$$

전체 원 패턴 시퀀스들 $S = \{S_i | i \in [1, K]\}$ 구간에 해당되는 모든 계수들의 평균과 분산을

$$Y = E(S), V(S) = E((S - Y)^2) \quad (5)$$

와 같이 구한다. 그리고 제안한 방법에서는 각 구간의 분산 $V(S_i)$ 과 전체 구간의 분산 $V(S)$ 와의 차이 조건

$$\begin{cases} V(S'_i) > V(S) + \Delta\gamma_2, & \text{if } w_i = 1 \\ V(S'_i) < V(S) - \Delta\gamma_1, & \text{else } w_i = 0 \end{cases} \quad (6)$$

을 만족하도록 $V(S_i)$ 을 변경함으로써 각 워터마크 비트 w_i 를 삽입한다. 여기서 임계치 $\Delta\gamma_1, \Delta\gamma_2$ 는 워터마크의 강인성을 고려한 변경 가능 범위이다.

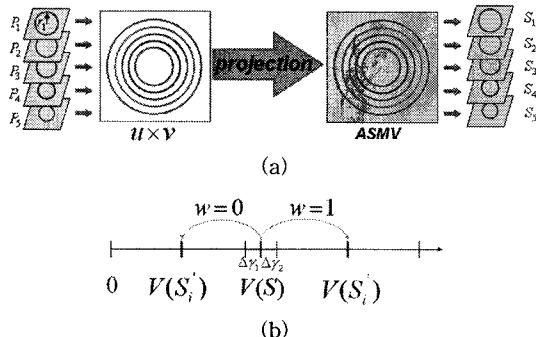


그림 7. Stage 1 단계에서 (a) 원 패턴을 평균 크기 계수 $ASMV$ 부대역에 투영하는 과정 및 (b) 분산을 이용한 워터마크 삽입 방법

위의 조건을 살펴보면, 워터마크 비트 w_i 에 따른 삽입 조건을 만족하기 위하여 각 구간의 분산 $V(S_i)$ 을 변경하여야 하며, 이는 구간 내의 모든 계수들을 삽입 조건에 따라 모두 변경하여야 한다. 이를 위하여 제안한 방법에서는 구간 내의 계수들을

$$S'_i(u, v) = S_i(u, v) \times \delta_i \quad (7)$$

와 같이 삽입 강도 δ_i 에 의하여 변경하며, δ_i 는 각 구간의 분산 $V(S_i)$ 과 전체 원 패턴의 분산 $V(S)$ 과 워터마크 비트에 따라

$$\delta_i \approx \frac{V(S) \times \alpha_i}{V(S_i)}, \quad \alpha_i = \begin{cases} \alpha_i > 1.1, & \text{if } w_i = 1 \\ \alpha_i < 0.9, & \text{else } w_i = 0 \end{cases} \quad (8)$$

결정된다. 그리고 변경된 구간 S'_i 계수에 의한 분산 $V(S'_i)$ 이 워터마크 비트 w_i 에 의한 삽입 조건을 만족할 때까지 α_i 를 조정하여 반복적으로 수행한다.

Stage 2 단계에서는 저작권 보호 및 변형 검출이 가능한 이진 워터마크 영상 W_2 를 최상위 레벨 $l=4$ 의 저주파 대역 내의 계수에 적응적인 구간 간격 Δ_b 을 갖는 양자화기를 사용하여 삽입한다. 즉, 제안한 방법에서는 $l=4$ 의 LP의 저주파 대역과 DFB를 통과한 방향성 대역으로부터 평균 크기 계수 $ASMV$ 대역을 구한 다음, 각 계수에 대한 양자화 구간 간격 Δ_b 을

$$\Delta_b = \begin{cases} \frac{2T}{N}, & \text{if } Th < ASMV(u, v) \\ \frac{T}{N}, & \text{else } Th > ASMV(u, v) \end{cases} \quad (9)$$

와 같이 양자화 구간 개수 N , 범위 T 와 문턱치 Th 에 의하여 얻는다. 여기서 양자화 구간 개수 N 은

$$N = \lfloor T/q_s \rfloor \quad (10)$$

와 같이 임의의 양자화 크기 q_s 및 범위 T 에 의하여 결정된다. 그리고 범위 T 는 최상위 레벨 $l=4$ 의 저주파 대역의 최대 크기를 가지는 계수 C_{max}^l 에 의하여

$$T = 2^{\lceil \log_2 C_{max}^l \rceil} \quad (11)$$

와 같이 얻어진다. 그리고 문턱치 Th 는 평균 크기 계수 $ASMV$ 부대역의 평균과 삽입강도 α 에 의하여

$$Th = E(ASMV) \times \alpha \quad (12)$$

와 같이 결정된다. u, v 는 $u = \{0, 1, 2, \dots, U\}, v = \{0, 1, 2, \dots, V\}$ 로 $U \times V$ 크기를 가지는 워터마크 영상 및 저주파

대역의 계수 위치를 나타낸다. 따라서 제안한 방법에서는 양자화 구간 간격 Δ_b 에 의하여 이진 워터마크 영상 $W_2 = \{w(u,v)|u \in [1, U], v \in [1, V]\}$ 을

$$c^h(u,v) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{d^{(u,v)}}{\Delta_b} \right\rfloor \times \Delta_b + (\Delta_b/4), & \text{if } w(u,v) = 1 \\ \left\lfloor \frac{d^{(u,v)}}{\Delta_b} \right\rfloor \times \Delta_b + (3\Delta_b/4), & \text{else } w(u,v) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

와 같이 각각 삽입한다.

3.2 워터마크 검출

워터마크 검출 과정에서는 그림 8에서와 같이 워터마크된 영상을 컨투어렛 변환한 후, Stage 1 단계에서 $l=1$ 인 레벨의 방향성 대역에 대한 평균 크기 계수 $ASMV$ 부대역을 구한다. 이때, 원 패턴을 $ASMV$ 에 투영하여 각 원 패턴의 구간 S_i^* ($i \in [1, K]$) 위치에 대한 계수 평균 $X_i^* = E(S_i^*)$ 과 분산 $V(S_i^*) = E\{(S_i^* - X_i^*)^2\}$ 을 구한다. 그리고 그림 8에서와 같이 자기 참조(self-reference) 기법을 이용하여 워터마크를 검출한다.

제안한 자기 참조 기법은 컨투어렛 변환 후 원 패턴의 구간에 해당되는 계수들을 모두 0으로 만든 다음, 역 컨투어렛 변환과 컨투어렛 변환을 거쳐 자기 참조가 되는 평균 크기 계수 $ASMV$ 를 얻는다. 이는 컨투어렛 변환이 방향성 대역 통과에 따른 부드러운 윤곽선의 표현에서 비롯되어 원의 패턴으로 제거된 영상에 대한 부분은 엘리이싱 성분으로 실제 값은 매우 낮은 에너지 값이 잔존한다. 하지만 LP로부터 잡음으로 제거되어 원래의 방향성 대역에 대한 성질만 잔존하게 된다. 따라서 자기 참조기법은 방향성 대역에 대한 잔존하는 에너지의 분산을 이용하여 제안하는 워터마킹 기법에서 효과적인 검출을 가능하

게 한다. 따라서 자기 참조된 $ASMV$ 상에서 각각의 원 패턴을 투영한 구간 S_i^* 의 계수 분산 $V(S_i^*)$ 과 전체 원의 패턴에 해당되는 구간 $S^* = \{S_i^* | i \in [1, K]\}$ 의 계수 분산 $V(S^*)$ 을 구한 다음, 가중치 β 에 의하여 $V(S_i^*)$ 와 $V(S^*)$ 를 비교함으로써

$$w_i^* = \begin{cases} 1, & \text{if } V(S_i^*) > V(S^*) \times \beta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

워터마크 비트 $W_1^* = \{w_i^* | i \in [1, K]\}$ 를 검출한다.

Stage 2 단계의 워터마크 추출 과정에서는 삽입 과정과 동일한 방법으로 워터마크된 최상위 레벨의 저주파 대역 내에 최대 크기 계수 $C_{max}^{l_i^*}$ 와 범위 T^* 구한 다음, 각 계수에 대한 양자화 구간 간격 Δ_b^* 를 얻는다. 그리고 Δ_b^* 에 의하여

$$\text{If } \left\lfloor \frac{d^{(u,v)^*}}{\Delta_b^*} \right\rfloor \times \Delta_b^* < d^{(u,v)^*} < \left\lfloor \frac{d^{(u,v)^*}}{\Delta_b^*} \right\rfloor \times \Delta_b^* + (\Delta_b^*/2),$$

Then, $w^*(u,v) = 1$

$$\text{If } \left\lfloor \frac{d^{(u,v)^*}}{\Delta_b^*} \right\rfloor \times \Delta_b^* + (\Delta_b^*/2) < d^{(u,v)^*} < \left\lfloor \frac{d^{(u,v)^*}}{\Delta_b^*} \right\rfloor \times \Delta_b^* + \Delta_b^*$$

Then, $w^*(u,v) = 0$

와 같이 이진 워터마크 영상 $W_2^* = \{w^*(u,v) | u \in [1, U], v \in [1, V]\}$ 을 검출한다.

4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 컨투어렛 변환영역에서 다중 워터마킹 기법 검증을 위하여 Checkmark 2.1[14] 테스트에 기초한 컴퓨터 모의 실험하였다. 실험에 사용된 영상은 512×512 화소의 크기를 갖는 LENA, BARBARA, PEPPERS, AIRPLANE 영상을 사용하였다. 실험의 첫 번째 단계로 4장에서 설명하였듯이 4레벨의 LP와 2레벨의 DFB를 수행하여 컨투어렛 변환을 하고, Stage 1에서 각 60, 68, 76, 84, 90의 반지름을 갖는 5개의 워터마크 키를 생성하여 최상위 고주파성분에 원의 분산을 구하여 5개의 이진 비트열을 사용하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입 시 비가시성을 고려하여 워터마크가 0이면 $\alpha_i = 0.3$, 워터마크가 1이면 $\alpha_i = 1.8$ 로 하였으며, $\Delta\gamma_1 = 0.9$, $\Delta\gamma_1 = 1.1$ 로 하였다. Stage 2에서는 저주파 영상에 대한 적응형 양자화기를 수행하여 32×32의 크기를 갖

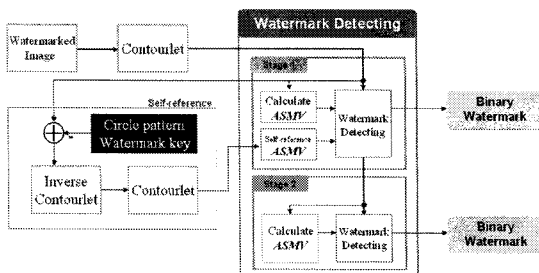


그림 8. 제안한 워터마크 검출 블록도



그림 9. Stage 2 단계에서 사용된 이진 워터마크 영상

는 이진 영상을 그림 9에서와 같이 워터마크로 삽입하였다. 이때, $q_s = 60$ 으로 두었으며, Mohan의 양자화 크기를 60으로 설정하여 실험하였다. 그리고 제안한 알고리즘의 비가시성 및 강인성 척도를 위해 Mohan 등이 제안한 기법과 비교 실험하였다.

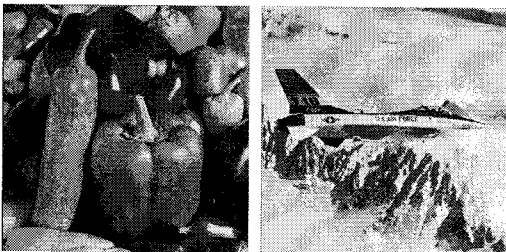
비가시성 평가를 위하여 워터마크된 영상의 PSNR(peak signal-to-noise ratio)을 측정하였으며, 이에 대한 결과는 표 1에서와 같다. 이 표를 살펴보면, 제안한 기법이 Mohan의 기법보다 약 1~3[dB] 정도 높음을 볼 수 있다. 그리고 제안한 방법에 의하여 워터마크된 LENA, BARBARA, PEPPERS, AIRPLANE 영상인 그림 10을 살펴보면, 워터마크의 비가시성을 확인할 수 있다.

표 1. 제안한 방법과 Mohan과의 PSNR(dB) 비교

영 상	Proposed	Mohan
LENA	41.93	38.58
BARBARA	39.54	38.53
PEPPERS	40.11	38.25
AIRPLANE	41.58	39.03



(a) (b)



(c) (d)

그림 10. 워터마크된 (a) LENA, (b) BARBARA, (c) PEPPERS, 및 (d) AIRPLANE 영상들

강인성 평가에 대한 실험에서는 우선 워터마크된 영상을 가우시안 필터링 (Gaussian filtering), 중간값 필터링 (median filtering), Thresholding 필터링, template Remove 필터링, 위너 필터링 (wiener filtering) 등의 다양한 필터링 공격을 수행하였다. LENA 및 BARBARA 영상에서 추출된 워터마크의 BER(BER, bit error rate)은 표 2 및 표 3에서와 같다. 이 표 상에서는 제안한 방법과 Mohan의 방법의 두 단계별로 BER를 나타내었다. 첫 번째 단계에서의 제안한 방법이 Mohan의 방법에 비하여 BER가 매우 낮음을 볼 수 있다. 즉, Median 필터링을 제외한 나머지 필터링에서는 워터마크가 모두 추출됨을 볼 수 있다. 그러나 두 번째 단계에서는 제안한 방법과 Mohan의 방법의 BER이 거의 유사함을 볼 수 있다. 따라서 필터링 공격 실험에서는 제안한 방법이 Mohan의 방법 중 첫 번째 단계에서 보다 강인함을 알 수 있었다.

JPEG 공격 실험에서는 화질 인자에 의한 다양한 압축을 수행한 후, 이에 대하여 워터마크를 추출하였

표 2. LENA 영상에 대한 일반적인 영상처리 공격 후의 PSNR과 BER

Attack method	Proposed		Mohan	
	BER(%)		BER(%)	
	Stage1	Stage2	Stage1	Stage2
Gaussian LPF	0	4.88	0.59	5.47
Median filtering	20	5.08	48.44	5.08
Soft Thresholding	0	3.61	17.09	2.83
Hard Thresholding	0	7.62	13.09	8.30
Template Removal	0	0.49	43.65	0
Wiener filtering	0	0.39	43.65	0

표 3. BARBARA 영상에 대한 일반적인 영상처리 공격 후의 PSNR과 BER

Attack method	Proposed		Mohan	
	BER(%)		BER(%)	
	Stage1	Stage2	Stage1	Stage2
Gaussian LPF	0	4.10	1.76	5.37
Median filtering	0	10.35	38.57	11.82
Soft Thresholding	0	3.81	18.95	2.64
Hard Thresholding	0	9.08	17.97	9.28
Template Removal	0	2.05	29.59	0.49
Wiener filtering	0	0.59	30.08	0.39

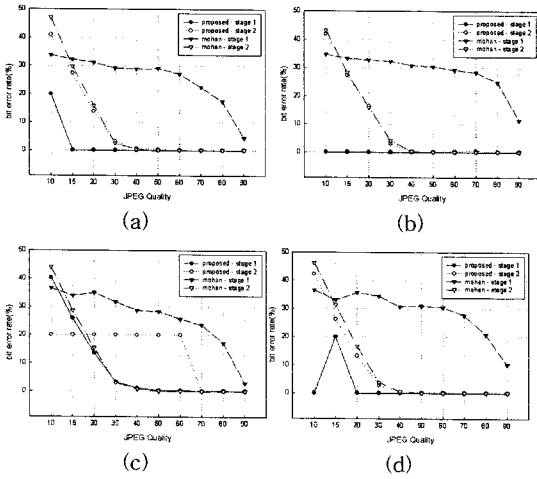


그림 11. JPEG 압축률 변화에 따른 (a) LENA, (b) BARBARA, (c) PEPPER, 및 (d) AIRPLANE 영상의 BER 비교

다. 이에 대한 실험 결과는 그림 11에서와 같다. 그림 11을 살펴보면, 제안한 방법의 첫 번째 단계에서 Mohan의 방법에 비하여 BER가 약 0.12-3.5 정도 낮음을 볼 수 있다. 특히 제안한 방법에서 화질 인자가 40일 때 까지는 모든 워터마크가 추출되었으며, 화질 인자가 매우 낮은 10일 때에는 PEPPER 영상을 제외한 나머지 영상에서 BER이 매우 낮음을 볼 수 있다. 그리고 제안한 방법의 두 번째 단계에서도 Mohan의 방법에 비하여 PEPPER 영상을 제외한 나머지 영상에서 BER이 약 0.0-0.5 정도 낮음을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로부터 JPEG 공격에 대하여 제안한 방법이 첫 번째 단계에서는 매우 강인하였으며, 두 번째 단계에서도 기존의 방법에 비하여 강인성 보다 우수함을 알 수 있었다.

이는 Mohan의 방법에서는 저주파 대역 내의 QIM 계수 기반으로 워터마크를 삽입하므로, 일반적인 영상처리 및 JPEG에 대하여 견고함을 나타내고 있다. 그러나 제안한 방법에서는 Mohan의 방법에 비하여 방향성 부대역의 평균 크기 계수의 적응적인 분산 내에 워터마크를 삽입하며, 지각적으로 중요한 적응형 양자화기를 설계하여 워터마크를 삽입하므로 기존의 Mohan의 방법에 비하여 보다 강인함으로 확인할 수 있었다.

기하학 공격 실험에서는 워터마크된 영상을 임의의 각으로 회전한 후, 워터마크를 추출하였다. 이에 대한 결과는 그림 12에서와 같다. 이들 그림을 살펴

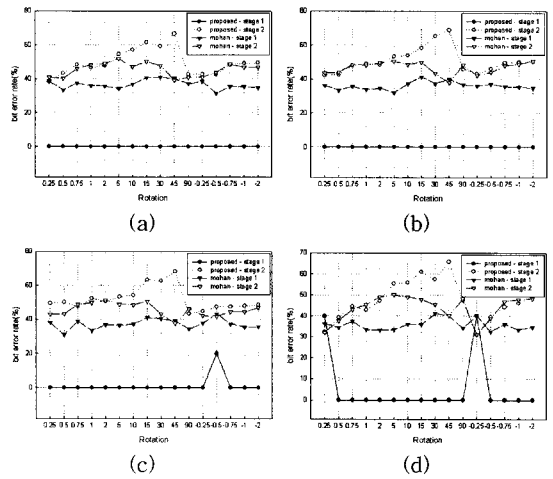
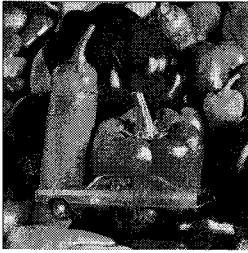


그림 12. 회전 변화에 따른 (a) LENA, (b) BARBARA, (c) PEPPER, 및 (d) AIRPLANE 영상의 BER 비교

보면, 제안한 방법의 첫 번째 단계에서는 워터마크를 원 패턴 시퀀스 형태로 삽입하였으므로, 일부 각을 제외한 나머지 각에서 워터마크가 모두 추출됨을 볼 수 있다. 그러나 Mohan의 방법에서는 모든 각에서 BER이 0.3보다 크게 나타남을 볼 수 있다. 그리고 제안한 두 번째 단계에서는 기존의 방법과 유사하게 모든 각에서 BER가 매우 높음을 볼 수 있다. 기하학 공격 실험에서는 이동 및 스케일링 등과 같은 공격도 있다. 그러나 제안한 방법의 첫 번째 단계에서는 이동 및 스케일링 경우 추출된 워터마크의 원 패턴 시퀀스와 원 패턴 시퀀스와의 패턴 정합에 의하여 추출할 수 있다.

이는 Mohan의 다중 표현 코딩 기법과 QIM 기법은 기하학 공격 시 컨투어렛 변환 계수의 위치 변화에 의하여 기하학적 공격에 매우 취약함을 실험 결과로부터 확인할 수 있다. 그러나 제안한 방법의 첫 번째 단계에서는 방향성 부대역의 평균 크기를 가지는 계수들을 구하고, 원 패턴 형태의 영역에 대한 계수들의 분산 값에 워터마크를 삽입한다. 이는 회전 및 이동과 같은 기하학적 공격에 대해서도 인증 및 위·변조 변형 여부를 판단할 수 있음을 실험 결과로부터 확인할 수 있다.

마지막으로 영상의 위·변조가 이루어지면 영상 내부에 삽입되어 있는 워터마크가 변형됨으로서 변형 여부 판단 및 조작 위치를 원 영상 없이도 검출이 가능하도록 Stage 2에서 설계하였다. 그림 13 (a)에



(a)



(b)

그림 13. (a) cut-and-paste된 PEPPER 영상 (b) 추출된 워터마크 영상



(a)



(b)

그림 14. (a) 미세 변형된 LENA 영상 (b) 추출된 워터마크 영상

서와 같이 cut-and-paste 공격을 하였으나 그림 13 (b)에서처럼 변형된 위치에 대한 워터마크가 추출되는 것을 확인하였다. 그리고 그림 14 (a)에서와 같이 워터마크된 영상의 미세 변형에 대한 위변조를 확인하기 위하여 머리카락 부근에 변형하였다. 그림 14 (b)에서와 같이 아주 미세하게 워터마크가 훼손됨을 볼 수 있었다.

이상의 결과로부터 제안한 두 단계의 워터마킹 기법이 기존의 방법에 비하여 강인성에서 보다 우수함을 알 수 있었다. 그리고 첫 번째 단계의 기하학 패턴 워터마킹은 모든 공격에 대하여 강인하였으므로, 저작권 보호 및 소유권 주장에 필요한 강인성 워터마킹 기법에 적합함을 확인하였다. 또한 두 번째 단계의 적응적 QIM 기반 워터마킹은 일부 공격에 제외한 나머지 공격에서 기존의 방법보다 보우 강인하였으므로, 준-연약성을 위한 인증 및 변형 검출 기법에 적합함을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 컨투어렛 변환 영역에서 강인성 및 준연약성을 위한 다중 워터마킹 기법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 컨투어렛 변환을 4레벨의 LP와 2레벨의 DFB를 수행하여 일반적인 영상처리 및 JPEG 압축 그리고 회전 등에 대한 변형을 고려하여 부드러운 곡선에 대한 주파수 성분을 원의 패턴을 투영하여 워터마크를 삽입하였으며, 중요 계수에 대한 변질 검증을 위치 검출을 위하여 저주파 영상에 적응적인 구간 간격을 갖는 양자화기를 설계하여 워터마크를 삽입하였다. 그리고 워터마크 키만으로는 원본 계수에 대한 성분을 전혀 알 수 없다는 점을 이용하여 워터마크를 삽입하는 과정에서 생성되는 원의 패턴에 대한 반지름을 워터마크 키로 생성하여 블라인드 워터마킹을 가능하게 한다. 이 키를 이용하여 워터마크 검출 시에도 원의 패턴을 생성하는데 사용된다. 제안한 워터마킹 기법의 성능 평가를 위하여 Checkmark 2.1를 이용한 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 다양한 영상처리 기법에도 비가시성 및 강인성을 실험을 통해 성능을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 강인성 및 준연약성 기법에 의하여 저작권 보호, 소유권 주장 및 인증, 위·변조 등의 변조여부 판별 등의 기능이 필요한 영상 분야에 많이 응용될 수 있을 것이다.

제안한 기법이 Mohan의 기법보다 다양한 공격에 대하여 보다 강인함을 확인하였으나, 이동 및 스케일링 등과 같은 공격에 대하여 패턴 정합 과정이 필요하다. 따라서 향후에는 원 정보가 필요없고, 컨투어렛 변환 기반의 패턴 정합 과정에 대한 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," *Proc. Of the IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol.2, pp. 86-90, 1994.
- [2] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Robust data hiding for images," *Proc of the IEEE Digital Signal Processing Workshop*, pp. 37-40, 1996.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shammon, "Secure spread spectrum for watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.6, pp. 1673-1687, 1997.

[4] C. I. Podilchuk and W. Xent, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Selected Area in communications*, Vol.16, No.4, pp. 525-539, May 1997.

[5] C. Lin and S. Chang, "A robust image authentication method distinguishing JPEG compression from malicious manipulation," *IEEE Trans. On Circuits and Systems of Video Technology*, Vol.11, No.2, pp. 153-168, Feb. 2001.

[6] B. Chandra Mohan and S. Srinivas Kumar, "Robust digital watermarking scheme using contourlet transform," *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.8, No.2, pp. 43-53, Feb. 2008.

[7] H. Song, S. Yua, X. Yanga, L. Songa and C. Wanga, "Contourlet-based image adaptive watermarking," *Signal Processing: Image Communication*, Vol.23, Issue 3, pp. 162-178, Mar. 2008.

[8] T. Kumaran and P. Thangavel, "Watermarking in contourlet transform domain using genetic algorithm," *Proceedings of the 2008 Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, pp. 257-262, 2008.

[9] J.H. Kim, J.K Lee, B.J. Jang, S.H. Lee, Y.D. Moon and K.R. Kwon, "Blind Watermarking Mean Magnitude Coefficient Values of Subband Based on Contourlet Transform Domain," *MITA2008*, pp. 60, Jun. 2008.

[10] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: An efficient directional multi-resolution image representation," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.14, No.12, pp. 2091-2106, Dec. 2005.

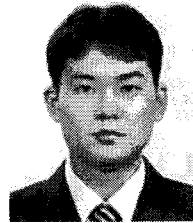
[11] P. J. Burt and E. H. Adelson, "The Laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.31, No.4, pp. 532-540, Apr. 1983.

[12] R. H. Bamberger and M. J. T. Smith, "A filter bank for the directional decomposition of image: Theory and design," *IEEE Trans. Signal*

Processing, Vol.40, No.4, pp. 882-893, Apr. 1992.

[13] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: A class of probably good methods for digital watermarking and information embedding," *IEEE Trans. On Information Theory*, Vol.47, No.4, pp. 1423-1443, May 2001.

[14] <http://watermarking.unique.ch/Checkmark/index.html>



김 지 훈

2007년 2월 부산외대 디지털정보공학부 졸업(공학사)
 2009년 2월 부경대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2009년 3월~현재 부산IT융복합연구소 연구원
 관심분야 : 영상처리, 콘텐츠보호



이 석 환

1999년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 2004년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년~현재 동명대학교 정보보호학과 조교수
 관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리



박 승 섭

1982년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1984년 일본대학교 이공학연구과 졸업(공학석사)
 1994년 동북대학교 공학연구과 졸업(공학박사)
 1984년~1986년 KTA 연구소 전

임연구원

1986년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

2008년~현재 부경대학교 공과대학장

관심분야: 멀티미디어 네트워크, 인터넷공학



김 지 흥

1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1996년 8월 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 졸업(공학박사)

1988년 2월~1997년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
 1997년 3월~2002년 2월 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 조교수
 2002년 3월~현재 동의대학교 영상정보공학과 부교수
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터 네트워크 등



서 용 수

1975년 2월 경북대학교 전자공과
 1975년 2월 학과 졸업(공학사)
 1982년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공1982년 2월 학석사)

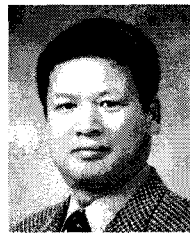
1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1994년 3월~현재 동서대학교 정보시스템공학부 부교수
 관심 분야: 영상처리, 패턴인식, Remote Sensing 등임.



오 세 응

1985년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1998년 3월 일본 오사카대학교 정보공학과 졸업(공학박사)
 1987년 3월~1994년 9월 한국전자통신연구원 선임연구원

1998년 3월~2004년 8월 동명정보대학교 게임공학과 조교수
 2004년 9월~현재 동의대학교 게임공학과 부교수
 관심분야: 가상현실, 온라인 게임, 정보보호, 유비쿼터스 컴퓨팅 등



권 기 통

1986년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업(공학사)
 1990년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업(공학석사)
 1994년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업(공학박사)

2000년~2001년 Univ. of Minnesota, Post-Doc.
 1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보공학부 부교수
 2006년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
 2008년~현재 한국멀티미디어학회 부회장
 2009년~현재 IEEE Changwon Section Director
 관심분야: 멀티미디어 정보보호, 영상처리, 웨이브릿 변환