

DWT와 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 블라인드 워터마킹 비교

Comparing of Blind Watermarking Method using DWT and CAT

공 휘*, 신진욱**, 윤 숙***, 박동선****
 전북대학교 전자공학부*, 전북대학교 BK21 전자정보 고급인력양성사업단**,
 목포대학교 멀티미디어공학과***, 전북대학교 IT융합연구센터****

Hui Gong(gonghui@live.cn)*, Jinwook Shin(jwshin@jbnu.ac.kr)**,
 Sook Yoon(syoon@mokpo.ac.kr)***, Dong-Sun Park(dspark@jbnu.ac.kr)****

요약

본 논문에서는 새로운 변환 기법인 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 워터마킹 방법과 기존의 DWT를 이용한 방법을 비교한다. 이 두 방법 모두 서로 상반되는 임의의 패턴 정보를 사용하여 워터마크 정보를 영상에 삽입한다. 셀룰라 오토마타 변환은 DWT와 달리 더 많은 정보 즉, 룰 번호, 초기 값, 격자 크기 등 다양한 초기값을 이용하여 기저함수를 생성하여 변환한다. DWT와 셀룰라 오토마타 변환을 이용하여 변환된 영상의 계수를 분석 및 비교한 후 워터마킹 성능을 비교한다. 모의실험에서는 워터마크 정보가 삽입된 영상에 대한 PSNR 및 정규화 상관계수를 이용하여 원영상과의 가시적인 동일성과 다양한 외부 공격에 대한 강인성을 비교한다. 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 워터마킹 방법이 DWT를 이용한 방법보다 JPEG 압축, 미디언 필터, 크기 변환, 잘라내기 및 히스토그램 평활화 등 대부분의 공격에 대하여 강인함을 보여준다.

■ 중심어 : | 워터마크 | 블라인드워터마크 | 셀룰라 오토마타 변환 | 웨이블릿 변환 | 기저함수 | 저작권보호 | 강인성 |

Abstract

In this paper, we propose a novel blind digital watermarking method based on a cellular automata transform (CAT). CAT is based on dynamic systems known as cellular automata(CA) and uses transform bases which are differently defined by a rule number, the number of neighbors, the number of cells, and an initial state, etc. The proposed CAT based method is compared with a blind watermarking method based on DWT which is commonly used for a domain transform in signal processing. We analyse properties on changes of DWT coefficients and CAT coefficients under various attacks and determine optimal parameters for a watermarking method robust to attacks. The simulations show that the watermarked images with high PSNR and MSSIM look visually identical to originals and are robust against most of typical image processing attacks. Moreover, the proposed CAT based watermarking method is superior to the DWT based one in robustness to most of typical image processing attacks including JPEG compression, median and average filtering, scaling, cropping, and histogram equalization.

■ keyword : | Watermark | Blind Watermark | Cellular Automata Transform | Discrete Wavelet Transform | Basis function | Copyright Protection | Robustness |

* 본 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-D00829-102778)이고 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0077772).

접수번호 : #110112-001

심사완료일 : 2011년 04월 12일

접수일자 : 2011년 01월 12일

교신저자 : 박동선, e-mail : dspark@jbnu.ac.kr

I. 서론

인터넷 및 관련 기술의 발달로 디지털 정보는 쉽게 불법으로 복제되고 전송된다. 따라서 정지 영상, 동영상, 음악 등 디지털 미디어에 대한 저작권을 보호하는 연구가 중요한 문제로 대두되어 왔다.

현재 보편적으로 사용되는 저작권 보호 기술에는 디지털 미디어에 저작권 정보를 삽입하는 워터마킹 기법이 있다. 응용에 따라 다르지만 일반적인 워터마킹 방법에서 일반 사용자는 인지할 수 없고 또한 제거할 수 없다. 워터마크 정보가 삽입되는 영역에 따라 크게 공간 영역과 주파수 변환 영역으로 나눌 수 있다. 공간영역을 이용한 방법은 구현 방법이 간단한 반면, 외부 공격에는 취약하다. 주파수 변환을 이용한 방법들은 구현 방법이 복잡한 반면 외부 공격에는 공간 영역을 이용한 방법보다 강인하다. 워터마크 정보를 추출하는 방법에 따라 원본 콘텐츠가 필요한 년블라인드 방법과 원본 콘텐츠가 필요 없는 블라인드 방법으로 나눌 수 있으며 블라인드 방법은 다양한 응용에서 적용할 수 있다.

주파수 변환을 이용한 대부분의 워터마킹 방법은 DCT[1][2]와 DWT[3][4]를 이용하고 있으며 이산 하다마드 변환(DHT)[5]과 Contourlet 변환[6]을 이용한 방법도 소개되고 있다. 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 방법은 Olu Lefe[7]가 소개하였으며 이 또한 주파수 변환 방법이다. 셀룰라 오토마타 변환은 정보를 압축하고 또한 쉽게 구현할 수 있는 장점 때문에 영상 압축과 암호화[8]에 응용되고 있다. Shiba 등[9]은 다양한 룰 번호를 사용한 셀룰라 오토마타 변환 워터마킹 기법을 소개하였다. 이 방법은 워터마킹 정보를 추출하기 위해서는 원본 영상을 필요로 년블라인드 방식이다. 셀룰라 오토마타는 구조가 간단하기 때문에 하드웨어 구현의 장점이 있으며 이러한 장점을 활용한 Mankar 등[10]은 VLSI 구현을 위한 셀룰라 오토마타 기반 확산 스펙트럼 워터마킹 기법을 소개하였다. 셀룰라 오토마타 변환도 기본적으로 셀룰라 오토마타 기법과 동일하므로 하드웨어 구현이 가능하다.

웨이블릿 변환처럼 셀룰라 오토마타 변환의 다해상도 특성을 이용한 연구[11]에서는 저주파수 영역을 제

외한 전 대역에 워터마크 정보를 삽입하였다. 이 방법은 년블라인드 방식으로 워터마크 정보를 검출하기 위해서 원 영상과 워터마크 정보가 삽입된 영상의 변환 차를 이용하여 검출하였다.

본 논문에서는 셀룰라 오토마타 변환이 DWT처럼 저주파수 영역을 계속하여 분해할 수 있는 특징이 있기 때문에 이 두가지 방법을 비교한다. 워터마크 정보를 삽입 및 추출하는 방법은 셀룰라 오토마타 변환 기저함수 중 임의의 패턴을 선택하여 블라인드 방법으로 정보를 삽입하고 반대로 상관계수를 이용하여 정보를 추출한다. 먼저 셀룰라 오토마타 변환 계수의 특징을 분석한 후 이진 영상의 워터마크 정보를 어느 대역에 삽입할 것인지를 판단한다. 실험 결과를 통하여 DWT와 셀룰라 오토마타 변환을 사용한 두 방식을 다양한 영상처리로 생성한 영상을 사용하여 그 결과를 비교 분석한다. 또한 본 논문에서는 삽입된 워터마크 정보를 추출하기 위하여 원 영상을 필요로 하지 않는 블라인드 방식을 적용한다.

본 논문의 구성은 2장에서 셀룰라 오토마타에 대한 기본 개념을 소개하고 셀룰라 오토마타 변환 및 DWT의 계수적인 특징에 대한 기술을 3장에서 한다. 4장에서는 워터마크 정보를 영상에 삽입하고 추출하는 방법에 대하여 기술하며 실험 및 분석은 5장에서 설명한다. 마지막으로 6장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

II. 셀룰라 오토마타 변환

2.1 셀룰라 오토마타

셀룰라 오토마타[12]는 공간과 시간 영역에서 이산적인 동적 시스템이다. 셀룰라 오토마타는 셀이라고 하는 상태가 국부적이고 이웃한 셀들의 상태 및 룰에 따라 다음 단계의 상태를 동시에 결정하는 시스템이다. 즉, 시간 $t+1$ 에서의 셀의 상태는 시간 t 의 상태에서의 현재 셀과 주위의 셀의 상태에 의해서 정해진다. 1-D 셀룰라 오토마타에서 현재 셀의 한쪽 부분에 r 개의 셀이 존재한다면 다음 상태를 결정하는데 이용되는 셀의 총 개수는 $2r + 1$ 이다.

가장 간단한 형태의 1-D 셀룰라 오토마타는 3-이웃, 2-상태 ('0' 또는 '1')일때 현재 셀 i 의 다음 상태는 식 (1)처럼 표현할 수 있다.

$$S_i^{t+1} = f(S_{i-1}^t, S_i^t, S_{i+1}^t) \quad (1)$$

$S_{i-1}^t, S_i^t, S_{i+1}^t$ 은 시간 t 에서의 왼쪽 이웃과 오른쪽 이웃이다. 함수 f 는 다음 상태를 정의하는 룰이며 f 를 진리표를 이용하여 표현하여 이에 대응하는 값을 십진수로 표현하면 룰 R로 표현할 수 있다. [표 1]은 세가지 룰 11, 15, 그리고 159를 표현한 것이다. 예를 들어 룰 11을 적용할 경우 현재 상태가 '000' 일 경우 다음 상태는 '1', 그리고 현재 상태가 '010'인 경우 다음 상태는 '0'의 상태를 갖는다.

표 1. 룰 11, 15, 159의 예

현재 상태	111	110	101	100	011	010	001	000	룰 번호
	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)	
다음상태	0	0	0	0	1	0	1	1	11
다음상태	0	0	0	0	1	1	1	1	15
다음상태	1	0	0	1	1	1	1	1	159

2.2 셀룰라 오토마타 변환

이산 값들의 집합 ψ_i 을 식 (2)처럼 셀룰라 공간 i 에서 정의할 수 있다.

$$\psi_i = \sum_{j=0}^{N-1} c_j B_{ij}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

B_{ij} 는 기저함수이고 c_j 는 셀룰라 오토마타 공간 j 에서 정의된 계수들이다[7].

N 개의 셀들로 구성된 1-D 공간에서의 변환 기저는 식(3)과 같다.

$$\mathbf{B} \equiv B_{ij} \quad i, j = 0, 1, \dots, N \quad (3)$$

셀룰라 오토마타의 기저함수 B_{ij} 는 셀 a_{it} ($i, t = 0, 1, \dots, N-1$)의 함수로서 다양한 표현방법이 존재한다. 그 중 대표적인 기저함수 중 하나는 식 (4)와 같다.

$$B_{ij} = 2a_{ij}a_{ji} - 1 \quad (4)$$

여기에서 a_{ij} 는 시간 $t = j$ 일때 공간영역 i 에서 셀룰라 오토마타의 상태이다. 만약 기저 B_{ij} 가 직교라던지 식 (5)와 같은 특성을 만족하며,

$$\sum_{i=0}^{N-1} B_{ik}B_{il} = \begin{cases} \lambda_k, & k=l \\ 0, & k \neq l \end{cases} \quad (5)$$

λ_k ($k = 0, 1, \dots, N-1$)는 계수이다. 셀룰라 오토마타의 변환 계수 c_k 는 식 (6)과 같다. 식(2)와 식(6)의 관계로부터 정보를 변환할 수 있으며 또한 그 역변환도 가능하다.

$$c_k = \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=0}^{N-1} \psi_i B_{ki} \quad (6)$$

$N \times N$ 셀로 구성된 2-D 공간에서 직교 변환 기저는 $\mathbf{B} \equiv B_{ijkl}$ ($i, j, k, l = 0, 1, \dots, N-1$)이다. 데이터 열 ψ_{ij} ($i, j = 0, 1, \dots, N-1$)에 대한 셀룰라 오토마타 변환과 역변환(ICAT)은 식 (7)과 (8)과 같으며

$$\text{CAT} : c_{kl} = \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \psi_{ij} B_{ijkl} \right) / N \quad (7)$$

$$\text{ICAT} : \psi_{ij} = \left(\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} c_{kl} B_{ijkl} \right) / N \quad (8)$$

c_{kl} 은 변환계수이며 N 블록으로 구성된다. 2-D 셀룰라 오토마타 변환 기저, B_{ijkl} 를 구하는 방법은 첫 번째로 2-D 셀룰라 오토마타 공간으로부터 직접 구하는 방법과 기저함수가 $B_{ijkl} = B_{ik}B_{jl}$ 이 되도록 1-D 기저함수를 이용하여 2-D 기저함수를 구할 수 있다.

[그림 1]은 $64 \times 8 \times 8$ 의 2-D 기저함수를 표현한 것으로 1-D 기저함수를 이용하여 생성한 것이다. 데이터 열(비트 열)의 길이가 $N=8$ 일 때 1-D 직교 셀룰라 오토마타 기저 함수를 생성할 수 있는 룰 번호와 초기 값의 몇몇 예는 [표 2]와 같다.

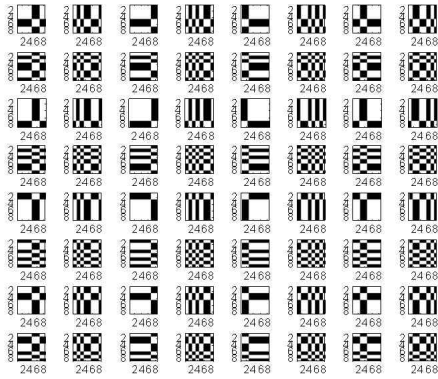
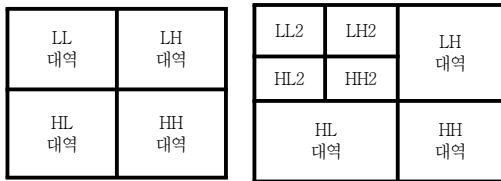


그림 1. 2-D 기저함수의 예

표 2. 직교 성질의 기저함수를 위한 예

룰 번호	초기 값	길이 N
11	00001100	8
15	10100110	8
15	01001000	8
159	10110010	8

셀룰라 오토마타 변환은 DWT 처럼 계층적[8]이며 영상의 폭이 $w = 2^n$ 이고 높이가 $h = 2^m$ (n, m 은 정수) 일때 영상은 $8 \times 8 = 64$ 개의 화소로 구성하는 $2^{m+n}/64$ 개의 부 블록으로 나눌 수 있다. 셀룰라 오토마타 변환 계수 c_{kl} 은 [그림 1]의 기저함수의 짝수 또는 홀수 위치에 따라 4가지 영역의 그룹으로 나눌 수 있다. 즉 [그림 2]처럼 k 및 l 이 짝수인 경우는 LL 대역, k 가 짝수 l 이 홀수 또는 k 가 홀수 l 이 짝수인 경우는 LH 또는 HL 대역, 마지막으로 모두 홀수인 경우는 HH 대역으로 나눈다.



(a) 1차 분해 주파수 영역

(b) 2차 분해 주파수 영역

그림 2. 계수 분할

각 주파수 영역에 대한 에너지 값을 식 (9)처럼 정의

하면 어느 영역에 에너지가 집중되어 있는지를 확인할 수 있으며 DWT 처럼 CAT도 LL 영역에 대부분의 에너지가 집중되어 있음을 실험적으로 알 수 있다. Lena 영상에 대한 에너지 집중도는 DWT처럼 저주파수 영역인 LL대역에 99% 이상 집중되어 있음을 알 수 있다.

$$E_{i,average} = \frac{E(c_{i,k,l}^2)}{\sum_{i=1}^4 E(c_{i,k,l}^2)} \quad (9)$$

III. 웨이블릿 및 셀룰라 오토마타 변환 계수 특성

웨이블릿 변환은 영상을 주파수 영역으로 변환시키며 고주파수 영역은 수평 영역(HL), 수직 영역(LH) 그리고 대각선 영역(HH)으로 나눌 수 있다. 저주파수 영역은 다시 분해할 수 있으며 저주파수 영역인 LL2 그리고 고주파수 영역인 HL2, LH2 그리고 HH2 영역으로 나뉜다. 2-레벨 DWT와 셀룰라 오토마타 변환에는 각각 총 7개의 부 대역이 존재한다. 일반적으로 워터마크 정보의 삽입은 다양한 방법으로 특정 대역에 존재하는 계수 값을 변경함으로써 이루어진다. 따라서 외부 공격에 대한 강인한 부 대역을 선정하는 것이 중요하다. 그러나 HH, HL 또는 LH 대역은 영상의 품질에 많은 영향을 주지 않고 손쉽게 제거가 가능하기 때문에 적당하지 않다. 워터마크 정보를 삽입하기 위한 부 대역을 선택하기 위하여 계수에 대한 다양한 공격의 효과를 분석한다. 공격에는 크기 변경, 회전, JPEG 압축, 미디언 필터 및 가우시안 잡음 추가 등을 이용한다. [그림 4]는 셀룰라 오토마타 변환과 DWT의 LL2, LH2, HL2 그리고 HH2 대역에 대한 다양한 공격에 대한 영향을 보여주는 그림으로 각각의 히스토그램은 공격 전후와 그 차이를 보여주고 있다. 결과로부터 알 수 있듯이 LL2 대역은 공격 전후를 비교하면 비슷한 분포를 나타내고 있기 때문에 대부분의 공격에 대하여 강인함을 가짐을 알 수 있다. 그러나 이 대역에 대한 계수 변형은 영상의 품질을 저하시키므로 워터마크 정보를 삽입하기에는 적당하지 않다.

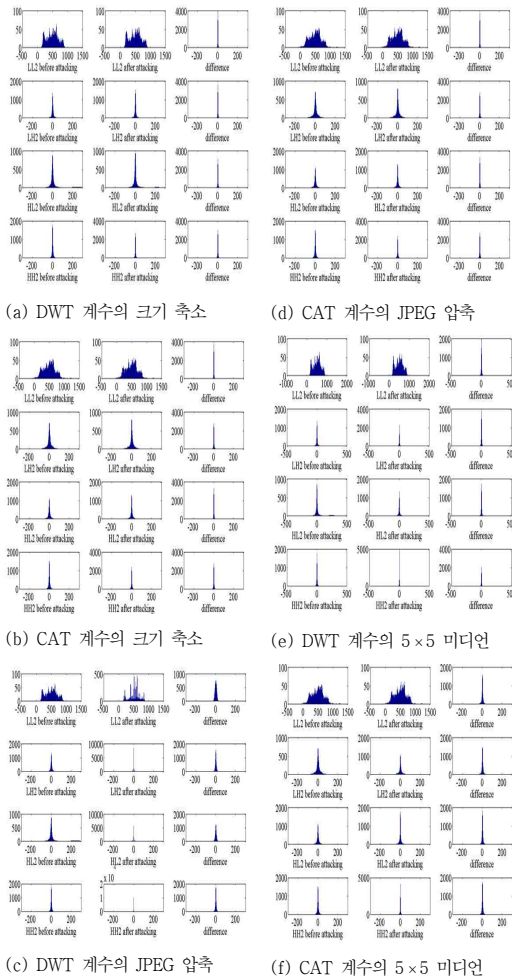


그림 3. DWT와 CAT 계수에 대한 다양한 공격 영향

HH2 대역은 외부 공격에 민감하게 반응하기 때문에 이 대역 또한 워터마크 정보를 삽입하기에 적당하지 않다. 이러한 분석 결과로부터 HL2 또는 LH2 대역이 워터마크 정보를 삽입하는데 유리하며 본 논문에서는 HL2 대역을 이용하였다.

Lena 영상에 대한 각 부 대역에 대한 평균 값, 분산 그리고 에너지 값을 [표 3][표 4] 그리고 5에 각각 정리하였다. DWT 와 셀룰라 오토마타 변환에 대한 LL, HH, LL2 및 HH2 부 대역의 평균 값, 분산 및 에너지는 서로 매우 유사한 값을 나타내고 있으며 다른 대역에서의 값들은 약간의 차이점만을 보이고 있다.

표 3. 각 부대역의 평균 값

대역	LL	LH	HL	HH	LL2	LH2	HL2	HH2
DWT	248	0.03	-0.11	0.006	496	0.14	-0.34	0.068
CAT	248	-0.11	0.03	0.006	496	0.34	-0.14	0.068

표 4. 각 부대역의 분산

대역	LL	LH	HL	HH	LL2	LH2	HL2	HH2
DWT	9.0e3	52.8	113	16.12	3.5e4	362	876	146
CAT	9.0e3	112	52.8	16.11	3.5e4	876	362	146

표 5. 각 부대역의 에너지

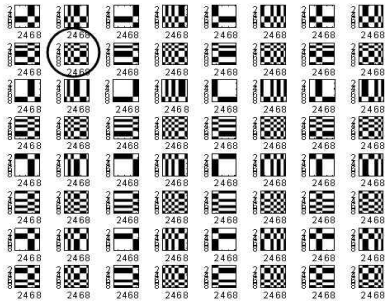
대역	LL	LH	HL	HH	LL2	LH2	HL2	HH2
DWT	4.6e9	3.4e6	7.4e6	1.1e6	4.6e9	5.9e6	1.4e6	2.4e6
CAT	4.6e9	7.4e6	3.5e6	1.0e6	4.6e9	1.4e7	5.9e6	2.4e6

IV. 패턴을 이용한 워터마크 정보의 삽입과 추출

4.1 워터마크 삽입

셀룰라 오토마타 변환의 기저함수의 임의의 패턴을 이용한 워터마크 정보의 삽입 절차는 다음과 같다.

먼저 DWT와 셀룰라 오토마타 변환을 이용하여 [그림 2](b)처럼 2-레벨 변환한다. 본 논문에서 CAT를 위하여 사용된 룰은 11, 초기값은 18H, 그리고 기저함수는 식(4)를 이용하였다. 변환된 각 부대역 중 HL2 대역을 선택한 후 1 비트 워터마크 정보를 삽입하기 위하여 8 × 8 크기로 겹치지 않게 블록으로 나눈다. 일반적으로 셀룰라 오토마타 변환은 8 × 8 크기의 블록단위로 변환이 가능하다. 임의의 패턴을 만들기 위한 방법은 [그림 4]처럼 2-D 셀룰라 오토마타 변환의 기저함수 중 임의의 패턴 P₁ ([그림 4](b))을 선택하도록 구성하였으며 패턴 선택 위치는 난수 발생기를 사용한다. 또 다른 패턴은 부호만 반대가 되도록 P₀ = -P₁인 패턴을 만든다.



(a) 2-D CA 기저함수의 예



(b) 패턴 P1



(c) 패턴 P2

그림 4. 패턴 선택의 예

다음 단계는 삽입할 워터마크 정보와 동일한 크기의 치환 배열을 난수발생기를 이용하여 생성하고 이 정보를 사용하여 일정한 형태로 이루어져있는 워터마크 정보를 암호화 한다. 워터마크 정보의 삽입은 처음 단계에서 구한 HL2의 각 블록에 삽입이 되며 외부 공격에 대하여 강인함을 갖도록 식 (10)처럼 가중치 k 을 곱하여 새로운 계수 값 $HL2_w$ 를 생성한다.

$$HL2_w = \begin{cases} HL2 + k \times P_1, & \text{if } w' = 1 \\ HL2 + k \times P_0, & \text{if } w' = 0 \end{cases} \quad (10)$$

[그림 5]는 워터마킹 정보 비트를 삽입하는 절차를 표현한 것이다.

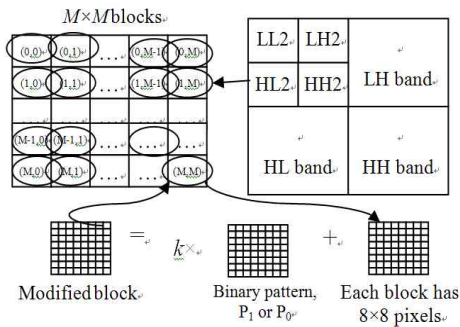


그림 5. 워터마크 정보 삽입 과정

마지막으로 변형된 계수 값으로부터 각각 역변환을

취하여 워터마크 정보가 삽입된 영상을 구한다.

4.2 상관계수를 이용한 워터마크 추출

워터마크 추출은 워터마크 삽입과 유사한 절차를 갖는다. 먼저 2-레벨 DWT와 셀룰라 오토마타 변환을 수행한 후 HL2 대역을 8×8 블록으로 나눈다. 그리고 동일한 키 값을 이용한 2-D 셀룰라 오토마타 변환의 기저함수 패턴 P_1 을 선택한다. 이와 같이 생성된 패턴은 각각의 블록들과 상관계수를 구하며 식 (11)처럼 부호 값에 의해 삽입된 워터마크 비트 값의 정보를 알아낸다.

$$watermark\ bit = \begin{cases} 1 & \text{if correlation} \geq 0 \\ 0 & \text{if correlation} < 0 \end{cases} \quad (11)$$

마지막으로 동일한 키 값으로 생성한 치환 배열을 이용하여 복호화 한다.

V. 실험 및 결과

셀룰라 오토마타 변환과 DWT를 사용하여 제안한 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 [그림 6]의 512×512 Lena, Milk drop, 그리고 Portofino 영상에 대하여 다양한 공격 영상을 사용하여 실험하였으며 워터마크 정보는 16×16 이진영상을 이용하였다.

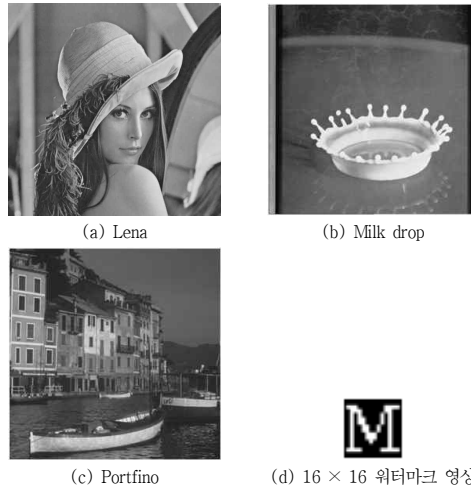


그림 6. 실험 영상

5.1 비가시성

본 논문에서 제안한 워터마킹 방법은 계수 값을 변환할 때 사용하는 가중치 k 값과 밀접한 관계가 있다. 즉 k 값이 작을수록 비가시성은 우수한 반면 외부 공격에 대해서는 취약하다. 이와 반대로 k 값이 클수록 비가시성은 악화되는 반면 외부 공격에 대해서는 강인함을 갖는다. 실험을 통하여 k 값이 9일 때 비가시성과 외부 공격에 대한 강인함을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

워터마킹 정보가 삽입된 영상의 PSNR과 MSSIM (Mean Structural Similarity Index Measurement)을 이용하여 객관적인 비가시성을 측정하며 식 (12)처럼 정규화 상관계수를 사용하여 외부 공격으로부터 검출된 워터마크 정보량을 비교한다.

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} W(i,j) W^*(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} W(i,j)^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} W^*(i,j)^2}} \quad (12)$$

[그림 7]은 두가지 변환방법을 이용하여 워터마크 영상을 삽입한 영상으로 육안으로는 워터마크 정보의 삽입여부를 알 수 없다. DWT 기반 워터마크 삽입 영상의 PSNR과 MSSIM 값은 각각 42.10dB와 0.9744이고 셀룰라 오토마타 변환을 사용한 방법은 42.11dB 및 0.9752을 보여주고 있다.



그림 7. 워터마킹 삽입 영상

DWT와 비교할 때 셀룰라 오토마타 변환은 물 번호, 초기 값, 기저 타입 등 다양한 변수에 의해 이루어지므로 공격자가 워터마크 정보가 삽입된 영상으로부터 워

터마크 정보를 적절하게 찾아내는 것은 매우 어렵다.

5.2 강인성

본 연구에서 제안한 두가지 방법을 비교하기 위하여 JPEG 압축, 평균 필터(5 × 5), 미디언 필터 (5 × 5), 가우시안 잡음 첨가, 잘라내기, 크기 변경, 샤프닝 및 히스토그램 평활화 등을 적용한 영상에 대하여 실험을 하였으며 [표 6][표 7], 그리고 [표 8]에 각 영상에 대한 실험 결과를 요약하였다.

표 6. Lena 영상 실험 결과

Attacks	DWT		CAT	
	PSNR	NC	PSNR	NC
JPEG (QF=90)	38.42	0.960	38.42	0.983
JPEG (QF=20)	32.66	0.858	32.65	0.906
Average filter	28.28	0.717	28.28	0.889
Median filter	28.00	0.755	31.17	0.789
Gaussian noise	17.17	0.929	13.66	0.876
Cropping (50%)	8.52	0.735	8.52	0.775
Scaling (50%)	33.80	0.922	33.80	0.968
Rotation 1.0°	20.93	0.325	20.93	0.379
Sharpening	23.15	1.000	23.13	0.992
Histogram equalization	19.11	0.967	19.11	0.983

표 7. Milk drop 영상 실험 결과

Attacks	DWT		CAT	
	PSNR	NC	PSNR	NC
JPEG (QF=90)	39.38	0.975	39.38	1.000
JPEG (QF=20)	34.54	0.885	34.54	0.949
Average filter	35.09	0.904	35.09	0.945
Median filter	30.67	0.865	30.67	0.936
Gaussian noise	13.79	0.711	13.79	0.760
Cropping (50%)	12.43	0.775	12.43	0.785
Scaling (50%)	33.96	0.967	33.96	1.000
Rotation 1.0°	23.39	0.251	23.39	0.356
Sharpening	25.45	0.992	25.45	1.000
Histogram equalization	15.80	1.000	15.80	1.000

표 8. Portofino 영상 실험 결과

Attacks	DWT		CAT	
	PSNR	NC	PSNR	NC
JPEG (QF=90)	37.10	1.000	37.10	1.000
JPEG (QF=20)	31.48	0.975	31.48	0.929
Average filter	28.32	0.858	28.32	0.800
Median filter	26.90	0.846	26.90	0.806
Gaussian noise	13.75	0.707	13.75	0.745
Cropping (50%)	10.82	0.775	10.82	0.785
Scaling (50%)	31.21	0.992	31.21	0.983
Rotation 1.0°	20.59	0.285	20.59	0.325
Sharpening	20.95	1.000	20.95	1.000
Histogram equalization	13.80	1.000	13.80	1.000

실험 결과로부터 알 수 있듯이 압축, 크기 공격, 샤프닝 및 히스토그램 평활화 공격에 대해서는 강인함을 갖는 반면 평균 필터 및 미디언 필터, 그리고 회전 공격에 대하여 상대적으로 낮은 NC 값을 가짐을 알 수 있었다.

서로 다른 방식을 이용하여 워터마크 정보를 삽입한 Lena 영상은 서로 비슷한 PSNR 값을 가짐을 알 수 있으며 그러나 NC 값은 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 방식이 근소하게 값이 높음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 임의의 패턴에 대한 상관계수 기반 셀룰라 오토마타 변환 기법과 DWT 방법을 비교하였다. 새로운 변환 기법인 셀룰라 오토마타 변환은 DWT와 유사한 다 계층 스펙트럼 구조를 가지고 있으며 룰 번호, 초기 상태 등을 이용하여 유연한 기저함수를 생성하여 변환할 수 있다. 이 두가지 변환에 대한 계수를 분석하여 워터마크 정보를 은닉하기 위한 대역을 결정하였다. 워터마크 정보의 삽입은 셀룰라 오토마타 변환의 기저함수 중 임의의 패턴을 선택하여 삽입하며 추출은 패턴과의 상관계수를 이용하여 추출하였다. 제안된 두 방법 모두 비가시성을 가지고 있으며 대부분의 영상 처리에 대한 강인성을 가지고 있다. 셀룰라 오토마타 변

환은 원천적으로 $N \times N$ 블록 단위로 연산이 진행되므로 전체 계수를 $N \times N$ 블록 단위로 강제로 나누는 DWT 보다는 워터마크 검출율이 근소하게 높게 나타났다. 본 논문에서 제안한 셀룰라 오토마타 변환을 이용한 방법은 블록의 크기에 따라 삽입할 수 있는 워터마크 정보량이 결정되기 때문에 블록의 크기가 제한될 때 정보를 더 많이 삽입할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행될 것이다.

참고 문헌

- [1] F. Liu, K. Han, and C. Z. Wang, "A novel blind watermark algorithm based On SVD and DCT," in Proc. IEEE ICICISYS, Vol.4, pp.283-286, 2009.
- [2] Y. T. Zhao, Y. F. Ma, and Z. Q. Li. "A robust chaos-based DCT-domain watermarking algorithm," in Proc. IEEE CSSE, Vol.3, pp.935-938, 2009.
- [3] W. H. Lin, S. J. Horng, T. W. Kao, and P. Z. Fan, "An Efficient Watermarking Method Based on Significant Difference of Wavelet Coefficient Quantization," IEEE Trans. on Multimedia, Vol.10, No.5, pp.746-757, 2008.
- [4] G. Zhang, S. Wang, and Q. Wen, "An adaptive block-based blind watermarking algorithm," In Proc. IEEE ICSP, pp.2294-2297, 2004.
- [5] S. P. Maity and M. K. Kundu, "DHT domain digital watermarking with low loss in image informations," AEU - International Journal of Electronics and Communications, Vol.64, pp.243-257, 2010.
- [6] X. W. Zhu and L. Xiao, "Research of Blind Watermark Detection Algorithm Based on Wavelet and Contourlet Transform Domain," In Proc. EBISS'09, pp.1-5, 2009.
- [7] O. Lafe, "Data compression and encryption using cellular automata transforms," Engng.

Applic. Artif. Intell., Vol.10, No.6, pp.581-591, 1997.

- [8] R. J. Chen, C. F. Tai, and J. L. Lai, "Novel CAT Wavelets-based Image Coding System," in Proc IEEE ISCE, pp.1-6, 2007(6).
- [9] R. Shiba, S. Kang, and Y. Aoki, "An image watermarking technique using cellular automata transform," TENON 2004 IEEE Region 10 Conference, Vol.1, pp.303-306, 2004.
- [10] V. H. Mankar, T. S. Das, and S. K. Sarkar. "Cellular Automata Based Robust Watermarking Architecture towards the VLSI Realization," World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.31, pp.20-29, 2007.
- [11] 박영일, 김석태, "다 해상도 특성을 갖는 2D 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 디지털 워터마킹", 한국통신학회논문지, 제34권, 제1호, 2009.
- [12] S. Wolfram, "Statistical mechanics of cellular automata," Reviews of Modern Physics, Vol.55, pp.601-644, 1983.

저 자 소 개

공 휘(Hui Gong)

준회원



- 2011년 3월 : 전북대학교 전자정보공학부 석사과정

<관심분야> : 디지털 워터마크, 영상처리

신 진 옥(Jinwook Shin)

정회원



- 1993년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 전북대학교 전자공학과(공학박사)

- 2007년 5월 ~ 2009년 8월 : University of California, Berkeley 박사 후 연구원
 - 2009년 10월 ~ 현재 : 전북대학교 BK21 전자정보 고급인력양성사업단 기금교수
- <관심분야> : 패턴인식, 디지털 워터마크, 셀룰러 오토마타, 디지털시스템설계

윤 숙(Sook Yoon)

정회원



- 1993년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 학사
- 1995년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
- 2003년 2월 : 전북대학교 전자공학과 박사

- 2002년 6월 ~ 2006년 6월 : University of California, Berkeley 박사 후 연구원
 - 2006년 9월 ~ 현재 : 목포대학교 멀티미디어공학과 교수
- <관심분야> : 멀티미디어컴퓨팅, 멀티미디어 통신 및 신호처리, 패턴인식

박 동 선(Dong-Sun Park)

정회원



- 1979년 2월 : 고려대학교 전기전자공학과 학사
- 1984년 미국 Missouri-Columbia 공학석사
- 1991년 미국 Missouri-Columbia 공학박사

- 1991년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 전자정보공학부 교수
- <관심분야> 신경망, 패턴인식, 영상처리, 디지털 시스템 설계