

다 해상도 특성을 갖는 2D 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 디지털 워터마킹

정희원 박 영 일*, 종신회원 김 석 태**°

Digital Watermarking using Multi-resolution Characteristic of 2D Cellular Automata Transform

Yong-Ri Piao* *Regular Member*, Seok-Tae Kim**° *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 다 해상도 특성을 갖는 2D 셀룰러 오토마타 변환 (2D Cellular Automata Transform)을 이용한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 먼저 게이트웨이(gateway) 값들을 선택하여 기저함수를 만든 후 원 영상을 셀룰러 오토마타 영역으로 변환한다. 다음 변환 영역의 특정 부분에 랜덤 비트 열을 워터마크로 삽입한다. 마지막으로 실험을 통하여 제안 방법의 충실도가 기존의 방법보다 높을 뿐만 아니라 JPEG 압축, 필터링, 첨예화, 노이즈 등 공격에도 강인성을 가지고 있음을 증명한다. 본 제안 방법에서 기저함수는 한 조의 게이트웨이 값들에 의해 유일하게 하나가 존재하며 가능한 게이트웨이 값들의 종류는 2^{96} 개가 있기 때문에 뛰어난 안전성을 가진다.

Key Words : 셀룰러 오토마타 변환, 게이트웨이 값, 기저함수, 다 해상도, 안전성, 강인성

ABSTRACT

In this paper, we propose a digital watermarking method using Multi-resolution Characteristic of 2D CAT (2D cellular automata transform). Firstly, we select the gateway values to generate a basis function and the basis function transforms images into cellular automata space. Then, we embed the random bit sequence as watermark in specific parts of cellular automata transform coefficients. The proposed method not only verifies higher fidelity than the existing method but also stronger stability on JPEG lossy compression, filtering, sharpening and noise through tests for robustness. Moreover, the proposed scheme allows only one 2D CAT basis function per gateway value. Since there are 2^{96} possible gateway values.

I. 서 론

최근 컴퓨터 및 인터넷 기술의 비약적인 발전으로 디지털 데이터의 소유권 및 저작권에 대한 분쟁이 이어지고 있다. 이러한 분쟁을 해결하기 위해 현재 디지털 데이터의 소유권 보장과 불법적인 내용 조작을 동시에 막을 수 있는 워터마킹 방법이 활발

히 연구되고 있다.

워터마킹이란 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 기술이다. 디지털 워터마킹 기법은 원본 데이터가 없이 워터마크를 추출할 수 있는 블라인드(Blind) 워

※ 본 연구는 2006년도 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 수행되었습니다(PS-2006-02800)

* 부경대학교 정보통신공학과 정보시스템 연구실 (pyr-bww@hanmail.net)

** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수 (setakim@pknu.ac.kr)(° : 교신저자)

논문번호 : KICS2008-04-158, 접수일자 : 2008년 4월 7일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 7일

터마킹 기법과 워터마크 추출 시 원본 데이터가 필요한 넌 블라인드(Non-Blind) 워터마킹 기법 두 가지 형태로 나눌 수 있으며 이러한 기법들은 주로 주파수 영역을 기반으로 연구되고 있다 [1].

기존의 주파수 영역의 워터마킹 방법들은 주로 DCT[2-3]와 DWT [4-7]을 이용하여 연구되고 있는데 해상도 특성 때문에 DWT를 이용한 워터마킹 연구가 주류를 차지하고 있다. DCT기반의 대표적인 워터마킹 기법은 Cox [8]의 방법을 예로 들 수 있는데 이 방법은 먼저 원 영상을 DCT 변환한 후 고주파 성분에 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다. 그러나 Cox의 방법은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 방법이 명확하지 않고 JPEG와 같은 압축에는 강인하지만 잡음, 영상처리 등 공격에는 약한 단점이 있다. 최근 DWT 기반의 워터마킹 방법은 Joo [9], Wang [10] 등을 예로 들 수 있는데 이 방법들은 먼저 원 영상에 DWT 변환 한 후 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다. 그러나 이러한 방법들은 DWT 변환을 기반으로 하였기 때문에 공격이 존재하지 않는 조건에서 DWT 역 변환 할 때에 원 데이터의 일부분 계수를 손실함과 동시에 그 부분에 삽입된 워터마크 데이터도 함께 손실되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 고려하여 셀룰러 오토마타 (Cellular Automata) 기술을 기반으로 한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 셀룰러 오토마타는 Von Neumann [11]에 의해 스스로 조직화 하고 재생산할 수 있는 모델로 처음 소개되었으며 Stephen Wolfram [12-13]에 의해 셀(Cell)의 상태가 자기 자신 및 인접한 셀 상태의 국소적인 상호작용에 의해서 동시에 갱신되는 시스템으로 제안되었다. 특히 다음 상태를 결정하는 함수가 선형인 셀룰러 오토마타는 LFSR (Linear Feedback Shift Register)의 대안으로 제안되었고, 이로 인해 오류정정부호, 신호분석 등 분야에서 응용되고 있다.

최근에 SHIBA Reiko[15] 등이 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 그러나 이 논문에서 기저함수의 생성법 및 게이트웨이 값의 설정이 명확하지 않고 워터마크 삽입계수에 대한 구성성이 결여되어 있으며 룰 사용이 제한되어 있어 범용성이 떨어지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 DWT 역 변환때에 계수 손실에 따른 워터마크 손실과 SHIBA Reiko 등이 제안한 방법에서 존재하는 문제점을 해결하기 위하여 각 셀들의 상태가 국소적인 상호작용에 의해 동시에

갱신되는 시스템인 셀룰러 오토마타를 이용하여 새로운 영역의 워터마킹 방법을 제안한다. 제안방법은 먼저 게이트웨이 값 (Gateway Values)의 설정에 따라 2D 셀룰러 오토마타 기저함수를 생성하여 원 영상을 셀룰러 오토마타 영역으로 변환하였다. 다음 랜덤 비트 열을 워터마크로 셀룰러 오토마타 변환 계수의 일부분 영역에 삽입하였다.

실험결과와 분석을 통하여 셀룰러 오토마타 변환 기반의 워터마킹 방법은 역 변환 시에 계수 손실이 없을 뿐만 아니라 기존 방법보다 뛰어난 안전성 (security)과 높은 충실도 (fidelity)를 가지고 있으며 또한 여러 가지 공격에도 강인성 (robustness)을 가지고 있음을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 셀룰러 오토마타와 셀룰러 오토마타 변환에 대해 정의를 하고 셀룰러 오토마타 변환 기저함수를 만드는 과정과 제안방법의 삽입, 추출, 검증 과정을 III장과 IV장에서 상세히 소개한다. 마지막으로 V장에서 실험결과를 통하여 제안방법의 안전성, 강인성을 논의하고 VI장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. 셀룰러 오토마타

2.1 셀룰러 오토마타의 정의

셀룰러 오토마타는 동역학계 (dynamical-system)를 해석하는 한 방법으로 공간과 시간을 이산적으로 다루고, 이산적인 공간의 셀들의 상태가 국소적인 상호작용에 의해서 동시에 갱신되는 시스템이다.

가장 간단한 구조를 가지는 1D 셀룰러 오토마타에서는 모든 셀들이 선형으로 배열되어 있다. 국소적 상호 작용이 3개의 셀, 즉 자기 자신과 인접한 셀에 의해 이루어지는 3-이웃 (3-neighbourhood) 셀룰러 오토마타이다. 3-이웃 셀룰러 오토마타에 대한 상태전이 함수 (state-transition function)는 식(1)과 같다.

$$a_{i,t+1} = f[a_{i,t}, a_{i+1,t}, a_{i-1,t}] \quad (1)$$

여기서 f 는 결합 논리를 가지는 국소전이 함수이다.

3-이웃 셀룰러 오토마타에는 서로 다른 2^3 개의 이웃의 배열상태가 있으며 그러한 셀룰러 오토마타에는 $2^3 = 256$ 개의 상태전이 함수가 있다. 이것을 셀룰러 오토마타의 룰(rule)이라고 한다.

N 개의 셀을 가지는 선형 1D셀룰러 오토마타에서는 현재 상태를 다음 상태로 전이시키는 전이함수를 $n \times n$ 행렬로 나타낼 수 있으며, 이것을 전이

행렬 (transition matrix)이라 한다. 전이 행렬 T에서 i번째 행은 i번째 셀에 적용되는 룰이며 그 셀의 다음 상태가 현재 상태에 의존하면 1, 그렇지 않으면 0으로 한다. 3-이웃 셀룰러 오토마타의 전이행렬은 정방 행렬의 주대각선과 그 위의 대각선과 아래 대각선을 제외 한 나머지가 0인 삼대각선 행렬이다. $f_i(x)$ 가 시간 t에서 셀룰러 오토마타의 상태를 나타내면 시간 t+1에서의 상태는 식(2)과 같다.

$$f_{i+1}(x) = T \cdot f_i(x) \quad (2)$$

여기서 T는 전이행렬을 나타낸다.

2.2 셀룰러 오토마타 변환

f 는 공간영역 i 에서 함수일 때 1D 셀룰러 오토마타 변환은 식(3)과 같이 정의 한다[14].

$$f_i = \sum_{k=0}^{N-1} c_k A_{ik} \quad i=0,1,2,\dots,N-1 \quad (3)$$

여기서 A는 셀룰러 오토마타 변환 기저함수, k는 셀룰러 오토마타 공간 벡터, c는 셀룰러 오토마타 변환 계수를 나타내고 식(4)과 같다.

$$c_k = \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=0}^{N-1} f_i A_{ik}, \quad \lambda_k = \sum_{i=0}^{N-1} A_{ik}^2 \quad (4)$$

f_{ij} 의 셀룰러 오토마타 변환은 식(5)과 같다.

$$f_{ij} = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} c_{kl} A_{ijkl} \quad (i, j = 0, 1, \dots, N-1) \quad (5)$$

여기서 c_{kl} 는 2D 셀룰러 오토마타 변환 기저함수이다.

2D 셀룰러 오토마타 변환의 기저함수는 다음 두 가지 방법으로 생성할 수 있다.

1. 2D CA 공간 $a = a_{ijt}$, ($i, j, t = 0, 1, \dots, N-1$)에서 직접 2D 기저함수 A_{ijkl} 을 생성한다.
2. 1D 기저함수로부터 2D 기저함수를 생성한다. 즉 $A_{ijkl} = A_{ik} A_{jl}$ 이다.

그림 1은 2D 셀룰러 오토마타 변환의 기저함수를 구하는 순서를 나타내고 5개 과정을 통하여 기저함수 A를 구하는 방법과 2D 셀룰러 오토마타 변환을 설명한다.

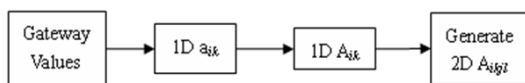


Fig. 1. Generate 2D basis function process

Step 1: 2-상태, 8-셀, 3-이웃의 구조를 가지는 2D

Table 1. Gateway Values

Wolfram Rule Number	158
Number of Cells per Neighborhood	3
Number of Cells in Lattice	8
Initial Configuration	01100101
Boundary Configuration	Cyclic
Basis Function Type 2	$A_{ik} = 2a_{ik}a_{ki} - 1$

셀룰러 오토마타변환의 기저함수는 게이트웨이 값 (룰, 셀의 개수, 셀의 초기상태, 경계조건, 기저함수 타입 등)에 의해 생성되는데 표 1은 게이트웨이 값들의 2^{96} 가지 조합의 경우 중 한 가지 조합을 나타낸다.

Step 2: 2-상태, 3이웃, 8-셀의 구조를 가지는 셀룰러 오토마타에서 표1에 나타난 게이트웨이 값들의 조건하에서 갱신되는 셀들의 상태전이는 식(6)과 같다.

$$a_{(1)(t+1)} = (W_0 a_{0t} + W_1 a_{1t} + W_2 a_{2t} + W_3 a_{0t} a_{1t} + W_4 a_{0t} a_{2t} + W_5 a_{1t} a_{2t} + W_6 a_{0t} a_{1t} a_{2t} + W_7) W_7^{z^3} \quad (6)$$

여기서 $0 \leq W_j \leq K$ 이고, α_j 는 이웃 셀 상태들의 조합으로 정해진다. W_j 는 룰에 따라 결정되며 정해진 룰을 2진으로 표현하면 8자리 이진수를 나타낸다. 예를 들어 룰 Rule=134 이면 $W=10000110$ 이다.

셀 상태변화는 셀의 개수가 8개이기에 t=8 까지만 갱신한다. 표1에 나타난 셀의 초기 값이 11010100이기에 t=8일 때 셀의 갱신상태 a_{ik} 을 표현하면 표 2와 같다. 여기서 k=t 이다. 표 2에서 알 수 있듯이 셀의 초기상태는 일정한 주기를 이루며 t=8일 때 원 상태로 돌아온다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Gateway Values

t=1	1	0	0	1	0	1	0	1
t=2	0	0	1	1	0	1	0	1
t=3	0	1	1	0	0	1	0	1
t=4	0	1	0	0	1	1	0	1
t=5	0	1	0	1	1	0	0	1
t=6	0	1	0	1	0	0	1	1
t=7	0	1	0	1	0	1	1	0
t=8	1	1	0	1	0	1	0	0

Step 3: 1D 기저함수는 식(7)과 같다.

$$A_{ik} = 2a_{ik}a_{ki} - 1 \quad (7)$$

여기서 a_{ik} 는 t=k 일 때 i번째 셀의 상태이다.

Step 4: 2D 기저함수는 1D 기저함수로부터 구할

수 있고 식(8)과 같다.

$$A_{ijkl} = A_{ik}A_{jl} \quad (8)$$

그림 2는 표 1의 게이트웨이 값에 의해 생성된 2D 기저함수를 나타낸다. 여기서 흰색 점은 1을 나타내고 검은색 점은 -1을 나타낸다. A_{00kl} 는 $i=0, j=0$ 인 블록을 나타내고 $A_{i,j00}$ 는 오른쪽 위의 첫 번째 점을 나타낸다.

셀룰러 오토마타 기저함수는 그림 2에서 나타내듯 +1과 -1의 정수 값만으로 표현된다. 그리고 셀룰러 오토마타 변환은 DCT 및 웨이블릿 변환필터와 달리 정 변환과 역 변환 때에 기저함수는 +1과 -1의 두 가지 정수 값만 가지기 때문에 입력 데이터가 손실 없이 완전회복 될 뿐만 아니라 Matlab으로 프로그래밍 할 경우 처리속도가 빠른 장점이 있다.

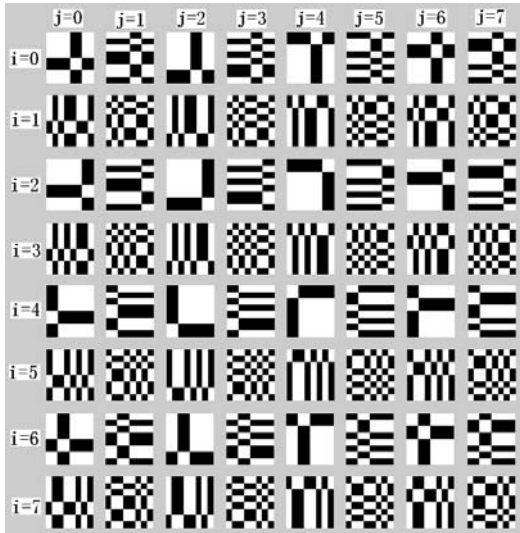


Fig. 2. Two-dimensional A_{ijkl} dual-coefficient basis functions

Step 5: 식(9)는 2D 셀룰러 오토마타 변환을 나타내며 입력 데이터 f_{ij} 을 셀룰러 오토마타 영역으로 변환한다.

$$c_{kl} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f_{ij} A_{ijkl} \quad k, l = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (9)$$

여기서는 f_{ij} 입력 데이터를 나타낸다.

III. 제안한 워터마킹 방법

제안한 워터마킹 방법의 순서를 그림 3에 나타낸

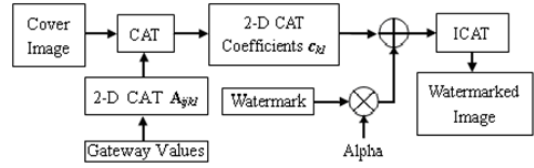


Fig. 3. Flowchart of the proposed scheme



Fig. 4. Decomposition of CAT coefficients into four groups at the multi-resolution

다. 제안한 워터마킹 방법은 먼저 게이트웨이 값으로 기저함수 A_{ijkl} 을 만든 후 원 영상을 셀룰러 오토마타 영역으로 변환한다. 다음 변환 계수의 일부 분 대역을 선택하여 랜덤 비트 열을 워터마크로 삽입하고 셀룰러 오토마타 역 변환하면 워터마크 된 영상을 얻는다.

제안방법에서 셀룰러 오토마타 계수 c_{kl} 을 홀수, 짝수 위치에 따라 재배열하면 그림 4와 같이 다 해상도 특성을 갖는 4개 대역으로 나누어지며 각각 저주파 성분, 중고주파 성분과 고주파 성분을 나타낸다.

그 후 식 (10)과 같이 재배열된 2-D 셀룰러 오토마타 계수의 II, III, IV대역을 선택하여 랜덤 비트 열을 워터마크로 사용하여 삽입한다.

$$C'_{GroupII,III,IV}(k,l) = C_{GroupII,III,IV}(k,l) + \alpha \times W(k,l) \quad k, l = (1, 2, \dots, N/2) \quad (10)$$

여기서 α 는 삽입강도를 나타낸다.

마지막으로 워터마크를 삽입한 셀룰러 오토마타 변환 계수를 식(5)에 적용하면 워터마킹 된 영상을 얻게 된다.

2D 셀룰러 오토마타 변환에서 게이트웨이 값에 의해 총 2^{96} 가지의 서로 다른 기저함수 조합을 만들어 낼 수 있기 때문에 생성된 기저함수를 사용하여 입력 데이터를 셀룰러 오토마타 영역으로 변환시키는 것만으로도 워터마킹의 안전성을 획기적으로 높일 수 있다.

IV. 워터마크의 추출 및 검증

이 워터마크의 추출 과정은 워터마크 삽입의 역 과정이다. 워터마크가 삽입된 영상을 셀룰러 오토마타 변환 후 워터마크를 삽입하는 과정과 동일한 검색경로를 통해 워터마크 정보가 포함된 계수를 검출하여 워터마크를 추출한다.

Step 1: 워터마크가 삽입된 영상을 생성된 기저함수를 이용하여 셀룰러 오토마타 영역으로 변환한다.

Step 2: 셀룰러 오토마타 계수를 위치에 따라 홀수, 짝수로 재배열하여 그림 4의 II, III, IV 대역의 계수 $C''_{Group II,III,IV}(k,l)$ 을 선택한다.

Step 3: 식 (11)에 의해 워터마크를 추출 한다.

$$W'(k,l) = [C_{Group II,III,IV}(k,l) - C''_{Group II,III,IV}(k,l)] / \alpha$$

$$(k,l = 1, 2, \dots, N/2) \quad (11)$$

여기서 $W'(k,l)$ 는 추출한 워터마크이다.

Step 4: 추출한 워터마크의 위치를 홀수, 짝수로 재배열하기 전의 원래 위치로 복원하면 최종 워터마크를 검출할 수 있다.

본 논문에서는 또 워터마크를 삽입한 영상과 원 영상 사이의 화질을 비교하기 위한 척도인 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)는 식(12)과 같다.

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right). \quad (12)$$

$$MSE = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} - X'_{ij})^2$$

여기서 X_{ij} 및 X'_{ij} 는 원 영상 및 워터마킹 된 영상의 픽셀 값을 나타내고, N은 영상의 크기를 나타낸다. PSNR은 원 신호와 잡음신호의 비로서 PSNR이 클수록 신호의 왜곡이 작다는 것은 의미하는데 PSNR > 30 dB 이면 일반적으로 시각적인 화질열화를 느낄 수가 없다.

안전성을 확인하는 검출척도로는 추출 전 워터마크 영상과 추출 후 워터마크 영상 사이의 유사도(SIM)를 이용하고 식(13)과 같다.

$$SIM = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} W'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W'_{ij}^2}} \quad (13)$$

여기에서 W 는 워터마크이고, W' 는 추출해낸 워터마크이다.

V. 실험결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위해 256×256 크기의 그레이 영상을 사용하여 실험하였다. 워터마크는 랜덤 한 특성을 가지는 랜덤 비트 열을 사용하여 워터마크를 구성하였다. 워터마크의 길이는 1000로 하였고 500번째로부터 발생시킨 워터마크 열을 삽입하였다. 본 논문에서는 100가지 영상들을 가지고 실험하였으며 그 중 일부 분 영상들을 그림 5에 나타낸다.



Fig. 5. Experimental Images

그림 6은 여러 가지 영상들 중에서 저주파 성분과 고주파 성분이 균일하게 잘 분포된 Girl 영상을 가지고 실험한 워터마킹 된 영상을 나타낸다. 그림 6에서 워터마킹 된 영상의 PSNR은 51.67dB 이며 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다.



Fig. 6. (a) Original Girl image (b) Watermarked Girl image

표 3은 여러 가지 게이트웨이 값을 선택하여 생성한 기저함수를 이용하여 다양한 영상에 대하여 실험한 결과를 나타내고 Lena 영상에 대한 DWT를 기반으로 하여 동일한 삽입강도와 삽입영역에서 워터마킹 한 방법과 제안한 방법과의 비교를 표4에 나타내고 있다. 표3에서 볼 수 있듯이 워터마킹 된 영상의 PSNR은 모두 44dB 이상으로서 제안한 방법이 우수한 충실도를 가진 다는 것을 알 수 있으며

Table 3. PSNR of watermarked images with different Gateway Values





Gateway values	Lena	Peppers	Man	Reagan
Initial Configuration & Wolfram Rule				
(A) 00101010 & 11	53.67 dB	54.16 dB	47.89 dB	49.57 dB
(B) 01101111 & 15	44.05 dB	45.72 dB	43.37 dB	43.15 dB
(C) 01001101 & 14	46.65 dB	47.28 dB	44.43 dB	45.62 dB
(D) 11010100 & 14	46.59 dB	46.94 dB	45.64 dB	45.24 dB
(E) 01100101 & 158	53.42 dB	53.79 dB	48.97 dB	49.35 dB

Table 4. Results of PSNR comparison with DWT methods

Lena	DWT	CAT(A)	CAT(B)	CAT(C)	CAT(D)	CAT(E)
PSNR	42.31dB	53.67dB	44.05dB	46.65dB	46.59dB	53.42dB

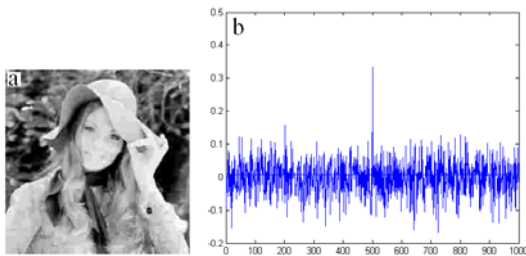


Fig. 7. (a) JPEG compression Q=10 (b) Similarity

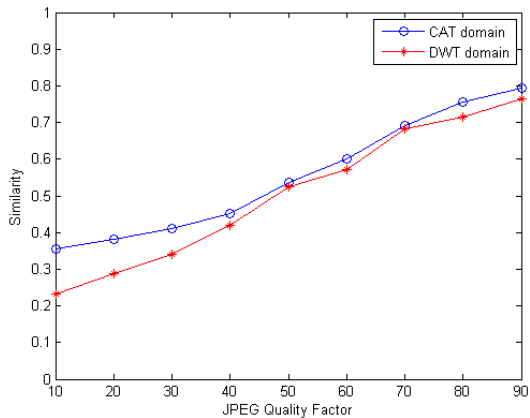


Fig. 8. The proposed method compared with DWT methods under JPEG compression

표 4에서 기존 영역 방법과의 비교를 통하여 제안 방법이 기존 영역의 방법에 비하여 충실도 측면에서 우수한 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

정지영상은 쉽게 JPEG으로 압축되어 인터넷상에서 배포되는데 제안방법의 JPEG 압축에 대한 강인성을 검증하기 위하여 워터마킹 영상에 JPEG 압축 품질을 여러 단계로 나누어 유사도 측정을 하였다.

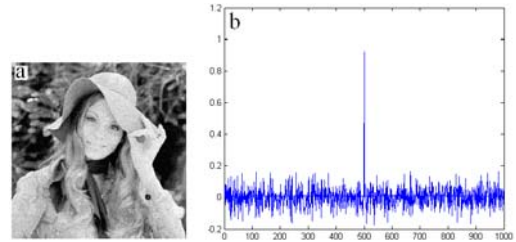


Fig. 9. (a) Gaussian noise (b) Similarity

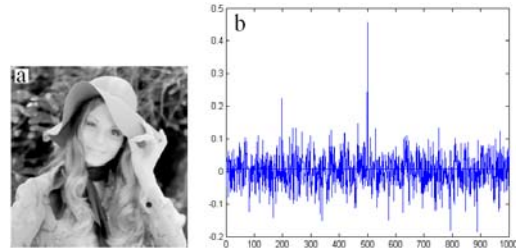


Fig. 10. (a) Median filtering (b) Similarity

그림 7은 워터마킹 영상에 JPEG 품질벡터를 10으로 정하여 압축한 영상과 유사도를 나타내고 있다. 제안방법의 유사도는 0.3564이며 압축품질이 매우 낮은 조건에서도 여전히 워터마크를 검출할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 8은 서로 다른 JPEG 압축품질에서 제안방법과 DWT 영역에서의 방법을 비교하여 측정된 유사도를 나타내고 있다. 비교 결과 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 제안방법이 압축공격에도 우수한 강인성을 가짐을 확인 할 수 있었다.

그림 9는 가우시안 노이즈를 4% 삽입하여 공격한 영상의 유사도를 나타내고 있다. 잡음 첨가 실험에서 가우시안 노이즈에 의한 유사도는 0.9225이며 제안한 방법이 노이즈 공격에도 강인하다는 것을 알 수 있다.

그림 10, 그림 11과 그림 12는 미디언 필터, 블러링, 샤프닝 등 여러 가지 필터 공격에 대한 워터마킹 영상과 그에 대응되는 유사도를 나타내고 있다. 블러링 영상처리 실험에서는 워터마킹 된 이미지에 3×3 사이즈의 필터를 적용 시켰고 미디언 필터 실험에서는 3×3 사이즈의 필터를 적용하였다. 제안 방법은 미디언 필터, 블러링, 샤프닝 등 필터 공격을 가한 영상에서도 워터마크를 검출할 수 있을 뿐만 아니라 측정된 워터마크의 유사도는 각각 0.4568, 0.4589와 0.5247 이다. 표 5는 필터링 공격에 대한 제안방법과 DWT기반 방법과의 비교를 나타내고 있다. 표 5에서 알 수 있듯이 제안한 방법은

참 고 문 헌

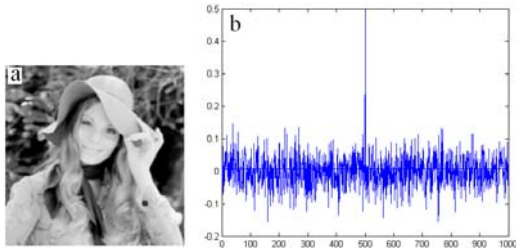


Fig. 11. (a) Blurring Filtering (b) Similarity

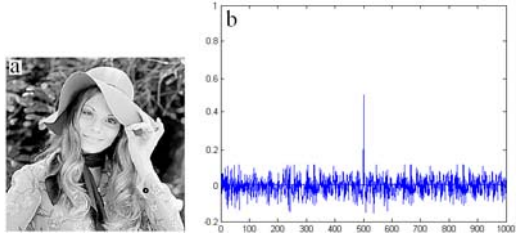


Fig. 12. (a) Sharpening Filtering (b) Similarity

Table 5. Results of Similarity comparison with DWT methods under filtering

Similarity	Median	Blurring	Sharpening
DWT	0.3436	0.3572	0.4815
CAT	0.4568	0.4589	0.5247

미디언 필터, 블러링, 샤프닝 등과 같은 영상처리 공격에도 역시 강인함을 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 워터마킹 시스템의 안전성을 높이기 위하여 기존 영역의 방법과 달리 2D 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안방법에서 셀룰러 오토마타 변환의 기저함수는 +1과 -1의 두 가지 값으로만 표현되기에 역변환시에 계수 손실이 없으며, 또한 기저함수는 한 가지 조합의 게이트웨이 값들에 의해 유일하게 하나가 생성되며 가능한 조합은 2^96 가지가 있다. 역 변환시에 정확한 기저함수를 적용하지 않으면 원 데이터를 회복할 수 없기 때문에 제안방법은 기존의 주파수 영역 방법보다 훨씬 뛰어난 안전성을 가지고 있다. 또한 제안방법의 강인성 실험에서 JPEG 압축, 필터링, 노이즈 등 공격에도 강인한 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 향후에는 기저 함수의 성질규명에 대한 연구와 이를 이용한 저작권 보호에 관한 연구가 활발히 진행될 것으로 기대된다.

- [1] M. Arnold, M. Schmucker, and S. D. Wolthusen, "Techniques and Applications of Digital watermarking and Content Protection", Artech House, Boston, London, 2003.
- [2] W. C. Chu, "DCT-Based Image Watermarking Using Sub-sampling", IEEE Trans. on Multimedia, Vol.1, pp.34-38, 2003.
- [3] M. A. Suhail, and M. S. Obaidat, "Digital Watermarking based DCT and JPEG Model". IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol.52, No.5, pp.1640-1647, 2003.
- [4] J. Y. Huang, and C. S. Yang, "Image Digital Watermarking Algorithm using Multiresolution Wavelet Transform", Proc. IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, Hague, Netherlands, pp.2977-2982, 2004.
- [5] 이경훈, 김용훈, 이태홍, "웨이블릿 기반의 강인한 패턴 디지털 워터마킹 방법", 한국 멀티미디어 학회 논문지, Vol.7, No. 1, pp.98-105, 2004.
- [6] 박영일, 김석태, "선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹", 한국통신학회 논문지, Vol.32, pp.16-22, 2006.
- [7] 박영일, 김석태, "웨이블릿 기반의 자기참조 기법을 이용한 블라인드 워터마킹", 한국통신학회 논문지, Vo. 33, No. 1, pp.62-67, 2008.
- [8] I. J. Cox, J. Killian, T. Leghton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum watermarking for Multimedia", IEEE Transactions on Image Processing Vol.6, No. 12, pp.1673-1687, 1997.
- [9] S. Joo, Y. Suh, J. Shin, H. Kikuchi, and S. -J. Cho, "A New Robust Watermark Embedding into Wavelet DC Components", ETRI Journal, Vol.24, No. 5, pp.401-404, 2002.
- [10] J. W. Wang, G. Liu, Y. W. Dai, J. S. Sun, Z. Q. Wang, and S. G. Lian, "Locally optimum Detection for barni's Multiplicative Watermarking in DWT domain", International Journal of Signal Processing, Vol.88, No. 1, pp.117-130, 2008.
- [11] J. Von Neumann, "The General and Logical Theory of Automata", Collected Works, A. H.

Taub, Vol.5, pp.288, 1963.

- [12] S. Wolfram, "Statical Mechanic of Cellular Automata", Review of Modern Physiscs, Vol.55, pp.601-644, 1983.
- [13] S. Wolfram, "Computational Theory of Cellular Automata in Cellular Automata and Complexity", Addison-Wesley, pp.150-202, 1984.
- [14] Olu Lafe, "Cellular Automata Transforms: Theory and Application in Multimedia Compression, Encryption, and Modeling", Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 2000.
- [15] SHIBA Reiko, KANG Seok, and AOKI Yoshinao "An image watermarking technique using cellular automata transform", IEEE Region 10 conference, TENCON 2004, proceedings analog and digital techniques in electrical engineering, Thailand, pp.21-24, November 2004.

박 영 일 (Yong-Ri Piao)

정회원



2003년 8월 JiLin University
통신공학과 공학사

2005년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학석사

2008년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사

2008년 9월 광운대학교 차세대

3차원 디스플레이 연구센터 전문연구원

<관심분야> 영상처리, 워터마킹, Cellular automata.

김 석 태 (Seok-Tae Kim)

종신회원



1983년 8월 광운대학교 통신공학과 공학사

1988년 8월 Kyoto Institute of Technology, 전자공학과 공학석사

1991년 8월 Osaka대학교 통신공학과, 공학박사

1999년 Univ. of washington, USA, 방문교수

2006년 Simon Fraser Univ., Canada, 방문교수

1991년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 재직, 교수

<관심분야> 영상처리, 패턴인식, 워터마킹, Cellular automata.