

# 셀룰러 오토마타 변환을 이용한 새로운 워터마킹

박영일\* · 김석태\*\*

\*부경대학교

## A Novel Watermarking using Cellular Automata Transform

Yong-Ri Piao\* · Seok-Tae Kim\*\*

\*Pukyong National University

E-mail : pyr-bww@hanmail.net setakim@pknu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 2D CAT (Two dimensional Cellular Automata Transform)을 이용한 새로운 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다. 먼저GV (Gateway Values)로 기저함수를 만들고 그것을 이용하여 원 영상을 CA (Cellular Automata) 영역으로 변환한다. 그 후 변환 영역의 특정 부분에 랜덤 시퀀스를 워터마크로 삽입한다. 제안방법에서 2D CAT 기저함수는 한 개의 CV 에 의해 유일하게 하나가 존재하며 가능한 GV의 종류는  $2^{96}$ 개가 있기 때문에 뛰어난 보안성 (security)을 가진다. 워터마크 된 영상은 충실도가 기존의 주파수 영역의 방법보다 높을 뿐만 아니라 JPEG 압축, 필터링, 첨예화, 노이즈 등 공격에도 강인성 (robustness)을 가지고 있음을 증명한다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel blind watermarking Method using 2D CAT (Two dimensional cellular automata transform). In our scheme, firstly, we obtain the gateway values to generate a dual-state, dual-coefficients basis function. Secondly, the basis function transforms images into cellular automata space. Lastly, we use the cellular automata transform coefficients to embed random noise watermark in the cover images. The proposed scheme allows only one 2D CAT basis function per gateway value. Since there are  $2^{96}$  possible gateway values, better security is guaranteed. Moreover, the new 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.

### 키워드

Blind Watermarking, Cellular Automata Transform, Gateway Values, Basis Function, Security, Fidelity, Robustness.

## I. 서 론

최근 컴퓨터 및 인터넷 기술의 비약적인 발전으로 디지털 데이터의 소유권 보장과 불법적인 내용 조작을 동시에 막을 수 있는 워터마킹 방법이 활발히 연구되고 있다[1].

기존의 워터마킹 방법들은 주로 DCT [2-3]와 DWT [4-7]을 이용하여 연구되고 있는데 다 해상도 특성 때문에 DWT를 이용한 워터마킹 연구가 주류를 차지하고 있다.

본 논문에서는 기존 방법과 달리 CA (Cellular Automata)을 기반으로 한 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다. 제안방법은 먼저 2D CA 기저함수를 생성하여 원 영상을 CA 영역으로 변환한다. 다음 랜덤 비트 시퀀스를 워터마크로 CAT 계수의 일부분 영역에 삽입한다. 실험결과와 분석을 통하여 2D CAT라는 새로운 영역 기반의 블라인드 워터마킹 방법은 역 변환 시에 계수 손실이

없을 뿐만 아니라 기존 방법보다 뛰어난 보안성 (security)과 높은 충실도 (fidelity)를 가지며 또한 JPEG 압축, 필터링, 노이즈 등 여러 가지 공격에도 강인함 (robustness)을 확인한다.

## II. Cellular Automata(CA)

### Cellular Automata 정의

CA는 동역학계(dynamical system)를 해석하는 한 방법이다. 공간과 시간을 이산적으로 다루고, 이산적인 공간의 Cell들의 상태가 국소적인 상호작용에 의해서 동시에 갱신되는 시스템이다.

가장 간단한 구조를 가지는 1D CA에서는 모든 Cell들이 선형으로 배열되어 있으며 3-이웃 CA에 대한 상태전이 함수는 식(1)과 같다.

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

여기서  $f_n$ 는 결합논리를 가지는 국소전이함수이다. 3-이웃 CA에는 서로 다른  $2^3$  개의 이웃의 배열 상태가 있으며 그러한 CA에는  $2^{2^3}$  개의 상태전이함수가 있다. 이것을 CA의 rule이라고 한다.

**Cellular Automata Transform(CAT)**

함수  $f_n$ 는 영역  $i$ 에서 함수일 때 1D CAT 변환은 식(2)과 같이 정의 한다[8].

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

여기서 A는 CAT 기저함수, k는 CA 공간벡터, c는 CAT 계수를 나타내고 식(3)과 같다.

$$c_k = \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=0}^{N-1} f_i A_{ik} \quad (3)$$

여기서  $\lambda_k$ 는 식 (4)과 같다.

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

$f_{ij}$ 의 2D CAT는 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 CAT 기저함수이다. 2D CAT의 기저함수는 다음 두 가지 방법으로 생성할 수 있다.

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

**III. 제안한 워터마킹 방법**

제안한 워터마킹 방법은 그림 1에 나타낸다.

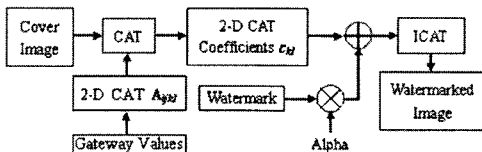


Fig. 1 Flowchart of the proposed scheme

**Step 1:** 2-state, 8-cell, 3-neighborhood, 2D CA dual-coefficient 기저함수는 gateway values에 의해 생성되는데 표 1은 gateway values의  $2^{96}$ 개의 경우 중 한 경우를 나타낸다.

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	$A_{ik} = 2a_{ik}a_{ki} - 1$

**Step 2:** 2-state, 8-cell을 가지는CA에서 표1에 나타낸gateway values의 조건하에서 갱신되는 Cell들의 상태전이 함수식은 식(6)과 같다.

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

여기서  $0 \leq W_i < K$  이고,  $\alpha_j$ 는 이웃 Cell 상태들의 조합으로 정해진다.

**Step 3:** 1D dual-coefficient CA 기저함수는 식(7)을 이용하여 구할 수 있다.

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

여기서  $a_{ik}$ 는  $t=k$ 일 때  $i$ 번째 Cell의 상태이다. **Step 4:** 2D CAT 기저함수는 1D 기저함수로부터 구할 수 있고 식(8)과 같다.

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

2D CAT 기저함수를 구하는 순서는 그림 2에 나타낸다.

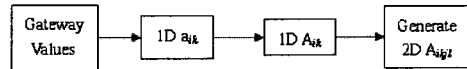


Fig. 2 Generate 2D basis function process

그림 3은 Table 1의 gateway values에 의해 생성된2D CAT 기저함수를 나타낸다. 여기서 하얀 점은1을 나타내고 검은 점은 -1을 나타낸다.

**Step 5:** 식(9)을 이용해 원 영상을 CAT 한다.

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

여기서  $f_{ij}$ 는 원 영상의 그레이 값을 나타낸다. 제안방법에서 짝수, 홀수 위치에 따라 2D CAT 계수를 재배열하면 그림 4와 같이 다 해상도 특성을 갖는 4개 대역으로 나누어진 영상을 얻는다. 2D CAT에서 GV에 의해 총  $2^{96}$  가지의 다른 기저함수를 만들 수 있으며 보안성을 획기적으로 높일 수 있다. 또한 기존의 DCT, DWT 필터보다 2D CAT 기저함수는 CAT 역 변환 할 때에 계수 손실이 없이 완전 회복되는 우월성이 있다.

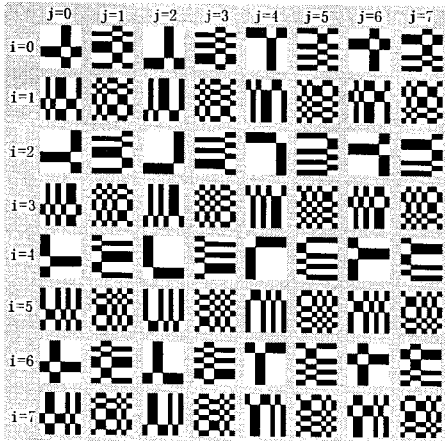


Fig. 3 Two-dimensional basis functions



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

Step 6: 식 (10)과 같이 재배열 된 2-D CAT 계수의 II, III, IV 대역을 선택하여 랜덤 비트 시퀀스를 워터마크로 사용하여 삽입한다.

$$C'_{GroupI}(k, l) = C_{GroupI}(k, l) + \alpha \times W(k, l) \quad (10)$$

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

여기서  $\alpha$ 는 삽입강도를 나타낸다.

Step 7: 워터마크를 삽입한 2D CAT계수를 식(5)에 적용하여 워터마킹 된 영상을 얻게 된다.

#### IV. 워터마크의 추출 및 검증

워터마크 추출 과정은 워터마크 삽입의 역 과정이다.

Step 1: 워터마크가 삽입된 영상을 생성된 2D CAT 기저함수를 이용하여 2D CAT을 한다.

Step 2: 2D CAT 계수를 위치에 따라 홀수, 짝수로 재배열하여 그림 4의 II, III, IV 대역의

계수  $C''_{GroupI, III, IV}(k, l)$  을 선택한다.

Step 3: 본 논문에서 제안한 방법은 블라인드 워터마킹에 속하기 때문에 원 영상이 없이 식 (11)에 의해 워터마크를 추출 한다.

$$W(k, l) = [C''_{GroupI, III, IV}(k, l) - C'_{GroupI, III, IV}(k, l)] / \alpha \quad (11)$$

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

여기서  $W'(k, l)$  는 추출한 워터마크를 나타낸다.

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

안정성을 확인하는 검출척도로는 추출 전 워터마크 영상과 추출 후 워터마크 영상 사이의 유사도(SIM)를 이용하고 식(14)과 같다.

$$SIM = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} W'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W'_{ij}^2}} \quad (14)$$

여기서  $W$ 는 워터마크이고,  $W'$ 는 추출한 워터마크이다.

#### V. 실험결과

본 논문에서는 256\*256 사이즈의 8bit Lena영상으로 실험하였다. 워터마크는 랜덤 한 특성을 가지면서도 통계적인 측정에 의하여 삽입된 정보를 추출할 수 있는 랜덤 비트 시퀀스를 사용하여 워터마크를 구성하였다. 그림 5에서 워터마킹 된 영상의 PSNR은 52.15dB이며 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다.



Fig. 5 (a) Original image (b) Watermarked image

Lena 영상에 대한 기존 방법과 제안한 방법과의 비교를 표3에 나타내고 있으며 기존 방법과의 비교를 통하여 제안방법이 기존방법에 비하여 충실도 측면에서 우수한 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

Table 3. Results of PSNR comparison with other methods

Lena Image	Cox DCT	Joo DWT	Wang DWT	(A) CAT	(B) CAT	(C) CAT	(D) CAT	(E) CAT
PSNR (dB)	39.76	40.69	45.02	53.67	44.05	46.65	46.59	53.42

그림 6은 워터마킹 영상에 JPEG 폴질벡터를 10으로 하여 압축한 영상과 유사도를 나타내고 있다. 제안방법의 유사도는 0.2839이며 압축품질이 매우 낮은 조건에서도 여전히 워터마크를 검출할 수 있어 CAT를 이용한 제안방법이 압축공격에도 우수한 강인성을 가짐을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 가우시안 노이즈를 4% 삽입하여 공격한 영상의유사도를 나타내고 있다. 잡음 첨가 실험에서 가우시안 노이즈에 의한 유사도는 0.7934 으로서 제안한 방법이 노이즈 공격에도 강인하다는 것을 알 수 있다.

그림 8, 그림 9와 그림 10은 미디언 필터, 블러링, 샤프닝, 등 여러 가지 필터 공격에 대한 워터마킹 영상과 그에 대응되는 유사도를 나타내고 있다. 제안 방법은 미디언 필터, 블러링, 샤프닝 등 필터 공격을

가한 영상에서도 워터마크를 검출할 수 있으며 측정된 워터마크의 유사도는 각각 0.2725, 0.3784와 0.8681로 나타나 제안한 방법은 미디언 필터, 블러링, 샤프닝 등과 같은 영상처리 공격에도 역시 강인성을 가짐을 확인할 수 있다.

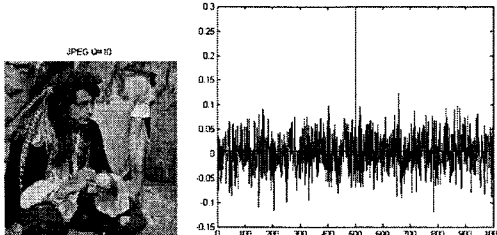


Fig. 6 (a) JPEG compression Q=10 (b) Similarity

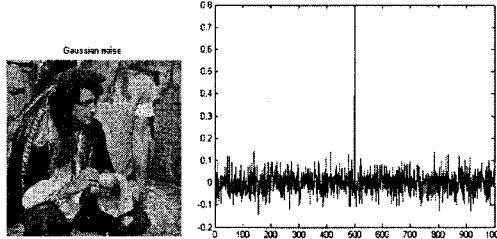


Fig. 7(a) Gaussian noise (b) Similarity

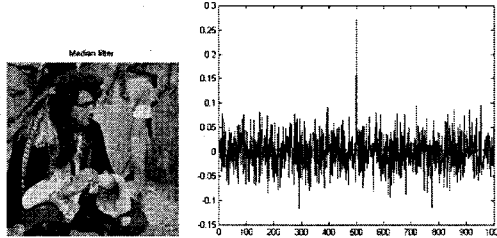


Fig. 8 (a) Median filtering (b) Similarity

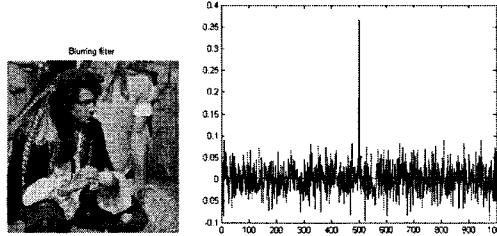


Fig. 9 (a) Blurring Filtering (b) Similarity

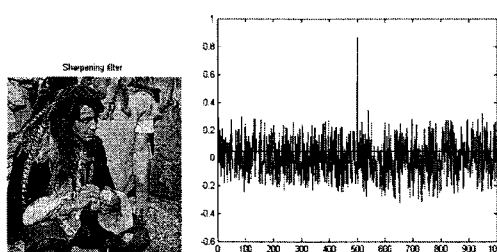


Fig. 10 (a) Sharpening Filtering (b) Similarity

## V. 결론

본 논문에서는 새로운 2D CAT기반의 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 암호화 수준을 높이기 위하여 먼저 GV를 선택하여 2D CAT기저함수를 만든 후 원 영상의 2D CAT계수를 구한다. 다음 2D CAT 계수의 위치에 따라 홀수, 짝수로 재배열하여 4개의 대역을 얻는다. 마지막으로 랜덤 비트 시퀀스를 워터마크로 사용하여 재배열 된 2D CAT 계수의 일부분 대역에 삽입하여 워터마킹 된 영상을 얻는다.

실험결과와 분석을 통하여 제안방법은 워터마크를 삽입한 영상의 충실도가 기존의 주파수 영역의 방법보다 높을 뿐만 아니라 기존 방법보다 훨씬 뛰어난 보안성을 가지고 있다. 또한 제안 방법의 강인성 실험에서 JPEG 압축, 필터링, 노이즈 등 공격에도 강인한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

향후 CAT 기저 함수의 성질 규명에 대한 연구와 이를 이용한 저작권 보호 연구가 활발히 진행해야 할 것이라고 짐작된다.

## 참고문헌

- [1] M. Arnold, M. Schmucker, 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, 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, C. S. Yang, "Image Digital Watermarking Algorithm using Multiresolution Wavelet Transform", Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Hague, Netherlands, pp. 2977-2982, 2004.
- [5] 이경훈, 김용훈, 이태홍, "웨이블릿 기반의 강인한 패턴 디지털 워터마킹 방법", 한국 멀티미디어학회 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] Olu Lafe, "Cellular Automata Transforms: Theory and Application in Multimedia Compression, Encryption, and Modeling", Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 2000.