

# 실시간 데이터 전송 환경에서의 셀룰러 오토마타 기반의 ROI 이미지 암호 알고리즘

최언숙\*

## A ROI Image Encryption Algorithm Based on Cellular Automata in Real-Time Data Transmission Environment

Un-Sook Choi\*

### 요약

이미지 콘텐츠를 포함한 정보의 보안은 오늘날 통신 기술의 필수적인 부분이며 보안 전송에 매우 중요하다. 본 논문에서는 신분증 등 민감한 정보가 포함된 이미지에 대해 실시간 데이터 전송이 필요한 환경에 적합한 보안 수준으로 신속하게 이미지를 암호화할 수 있는 암호화 알고리즘을 제안한다. 제안되는 알고리즘은 하드웨어 구현이 가능하고, 하드웨어 친화적 연산이 가능한 1차원 5-이웃 셀룰러 오토마타를 기반으로 한 알고리즘이다. 제안된 암호 알고리즘에 대하여 다양한 실험과 분석을 수행하여 다양한 무차별 대입 공격으로부터 안전함을 검증한다.

### ABSTRACT

The security of information, including image content, is an essential part of today's communications technology and is critical to secure transmission. In this paper, a new ROI-based image encryption algorithm is proposed that can quickly encrypt images with a security level suitable for environments that require real-time data transmission for images containing sensitive information such as ID cards. The proposed algorithm is based on one dimensional 5-neighbor cellular automata, which can be implemented in hardware and performed hardware-friendly operations. Various experiments and analyses are performed to verify whether the proposed encryption algorithm is safe from various brute-force attacks.

### 키워드

Image Encryption, Region Of Interest, 5-Neighbor CA, Cellular Automata, Symmetric Key Cryptography  
이미지 암호, 관심영역, 5-이웃 CA, 셀룰러 오토마타, 대칭키 암호

### 1. 서론

코로나19 팬데믹 이후 비대면 디지털 기술과 서비스의 급속한 발전과 확산으로 인해 실시간 비대면 온

라인 회의, 교육, 원격의료, 온라인 협업, 비대면 금융 거래 등 비대면 업무가 늘어나고 있으며 이에 따라 네트워크 트래픽이 폭발적으로 발생하고 있다. 따라서 실시간으로 멀티미디어를 보호할 수 있는 기술에 대

\* 교신저자 : 동명대학교 시학부  
• 접수일 : 2023. 10. 20  
• 수정완료일 : 2023. 11. 15  
• 게재확정일 : 2023. 12. 27

• Received : Oct. 20, 2023, Revised : Nov. 15, 2023, Accepted : Dec. 27, 2023  
• Corresponding Author : Un-Sook Choi  
School of Artificial Intelligence, Tongmyong University  
Email : choies@tu.ac.kr

한 요구가 계속적으로 늘어나고 있다. 이미지 콘텐츠를 포함한 정보의 보안은 오늘날 통신 기술의 필수적인 부분이며 안전한 전송을 위해 매우 중요하다.

개인의 신상정보가 많은 부분을 차지하고 있는 신분증이나, 의료 이미지에 대한 보호는 매우 중요하다. 개인정보 보호법 등 국가적인 법규에 따라 보호되어야 하는 정보는 일반적으로 개인의 신원정보(이름, 생년월일, 주민등록번호 등)와 진료기록, 검사 결과, 처방 정보, 의료 보험 정보 등이다. 일반적으로 전체 이미지에 포함되어 있는 콘텐츠 중 일부만 의미가 있는 경우가 상당수 있다. 현재 이미지 암호알고리즘은 크게 두 가지 유형이 있는데, 하나는 전체 이미지 암호화이고, 다른 하나는 이미지를 암호화할 때 이미지의 일부를 선택하는 선택적 이미지 암호화가 있다. 실시간 전송이 요구되는 환경에서 전체 이미지 대신 특별히 민감한 정보를 가진 관심영역(ROI: region of interest)만을 암호화한다면 만족할 만한 보안수준으로 정보를 보호할 수 있을 뿐만 아니라 계산 리소스를 절약하고 암호화 속도를 향상시킬 수 있음이 분명하다.

ROI 기반 이미지 암호화는 전체 이미지 내 관심영역을 암호화하여 정보를 보호하는 기술이다. ROI 기반 이미지 암호화는 일반적으로 이미지의 중요한 부분을 선택하고 선택한 영역을 암호화하고 다른 부분은 암호화되지 않은 상태로 둔다. 이러한 방식은 중요한 정보를 보호하면서 전체 이미지의 모양은 변경되지 않는다. ROI 기반 이미지 암호화 기술은 암호화 프로세스의 효율성을 향상시키고 암호화 및 복호화에 필요한 계산 시간을 줄이기 위해 종종 사용된다. ROI 기반 이미지 암호화에서 이미지는 중요도나 민감도에 따라 관심영역을 선택하게 되는데, 이것은 하나의 영역이 될 수도 있고, 여러 개의 관심 영역으로 나뉠 수도 있다. 이때 선택된 ROI 각 영역에 대하여 서로 다른 키를 사용하여 암호화하고, 암호화된 영역을 원본 이미지와 결합하여 암호화된 이미지를 형성한다. 이 기술을 사용하면 전체 이미지 중 중요하거나 민감한 부분만 선택적으로 암호화 할 수 있어 전체 계산 오버헤드가 줄어들 수 있다[1].

셀룰러 오토마타(Cellular Automata, 이하 CA)는 간단하고 규칙적인 구조를 가지고 있으며, 국소적 상호 작용, 임의 유사 연산, 대규모 병렬 처리 등의 장

점을 지닌 동적 시스템이다. CA 중 최대 길이를 갖는 CA는 우수한 랜덤 수열을 생성할 수 있어 영상 암호화 시스템의 키 수열생성기로 적용된다[2-4].

본 논문에서는 신분증과 같은 민감한 정보가 포함된 이미지에 대해 실시간 데이터 전송이 필요한 환경에 적합한 보안 수준으로 신속하게 이미지를 암호화할 수 있는 ROI기반 암호화 알고리즘을 제안한다. 제안하는 ROI 기반 이미지 암호화 알고리즘은 YOLOv5 알고리즘과 OCR을 이용하여 주어진 영상에 대한 ROI를 검출하고 검출된 영역을 효과적으로 암호화할 수 있다. 하드웨어 친화적 연산이 가능한 CA중 품질이 좋은 키수열을 생성할 수 있는 5-이웃 최대길이 CA를 이미지 암호에 적용한다. 제안하는 암호시스템의 안전성을 입증하기 위해 다양한 통계분석이 수행된다.

## II. 관련 연구 및 배경 지식

이미지 암호화는 원본 이미지를 인식할 수 없는 이미지로 변환하는 가장 직관적이고 효과적인 방법이다. 이를 통해 개인의 주요 정보를 나타내는 이미지가 도난당하거나 불법적으로 열람되는 것을 방지할 수 있으며, 이미지 또는 영상을 전송 할 때 개인정보가 유출되는 것을 방지할 수 있다. 많은 학자들은 텍스트 데이터에 비해 이미지의 엄청난 양과 중복성으로 인해 대부분의 정수론이나 대수적 개념 기반의 전통적인 암호가 디지털 이미지에 적합하지 않은 것으로 보인다[5].

### 2.1 관련 연구

지난 20년간 이미지 암호화와 그 분석이 급속히 발전했다. 카오스 이론은 시간 변화와 초기 조건에 매우 민감하며 무작위 시퀀스를 효과적으로 생성할 수 있다. 이러한 이유로 카오스 기반 암호화 시스템이 이미지 암호화에 적용되는 경우가 많다. 이미지 암호화 기술은 스크램블링과 확산이라는 두 가지 기본 설계를 따른다. 다음은 ROI기반의 최근 연구 결과물이다. Ping 등은 [6]에서 의료 영상이 검은색 배경을 많이 사용한다는 사실을 가지고 검은색 배경을 사용하여 관심 영역과 비관심 영역으로 분류하고, 관심 영역

에 대한 실험과 같은 셀룰러 오토마타와 히스토그램 이동을 기반으로 한 ROI 암호화 기술을 제안했다. Song 등은 ROI 기반 영상 암호화 알고리즘을 제안했는데, DCNN 기반 객체 감지 모델을 사용하여 ROI를 감지하고 카오스 함수를 사용하여 ROI를 암호화하여 중복 암호화를 방지하고 이미지의 가장 중요한 부분에 대해 빠른 암호화를 수행했다[7]. Phatak은 상대적으로 작은 ROI를 갖는 이미지를 암호화하는 데 적합한 방법을 제안했다[8]. 제안한 방법은 의사 난수 시퀀스 생성기에서 얻은 키의 XOR 연산과 RGB 컬러 이미지의 파란색 평면 구성 요소의 상대적인 시각적 중복성을 사용하여 암호화가 수행된다. 그는 또한 알고리즘의 보안을 더욱 강화하기 위한 개선 사항으로 Cipher Block Chaining을 제안했다. 제안하는 알고리즘은 복호화 과정에서 일부 시각적 데이터가 손실되는 것으로 분류된다. Chen 등 [9]은 암호화 알고리즘을 기반으로 딥러닝을 추가하여 관심 영역 이미지 암호화를 위한 하이퍼 카오스 시스템을 사용하는 알고리즘을 구축했다. 제안된 방법은 새로운 2차원 초혼돈 지도를 설계하고 Bagua 코딩이라는 코딩 아키텍처를 사용했다.

## 2.2 YOLO

YOLO는 “You Only Look Once”를 줄인 표현으로 Redmon 등이 2016년에 딥러닝을 기반으로 한 객체 감지 알고리즘이다[10]. 기존의 객체 감지 알고리즘은 이미지를 여러 개의 작은 영역으로 나누어 각 영역에 객체가 있는지 판단하여 감지를 수행하는 방식이어서 처리 속도가 느린 반면 YOLO는 기존의 접근 방식과 달리 전체 이미지를 한 번에 보면서 객체를 감지한다. 또한 객체 감지 등 다양한 작업을 단일 모델로 처리할 수 있어 처리 속도가 빠르고 감지 정확도가 높아 실시간 객체 감지 분야에서 널리 활용되고 있다.

YOLOv5는 2020년에 발표된 버전으로, 네트워크 구조를 단순화하고 Swish 활성화 함수, PANet 등의 기술을 도입하여 정확도와 속도를 향상시켰으며, 알려진 YOLOv4보다 매개변수 수가 적고 처리 속도도 빠르다. PyTorch 또는 TensorFlow와 같은 유명한 딥러닝 프레임워크에서 구현되는 개방형 라이브러리이다. 본 논문에서는 YOLOv5를 사용하여 원본 이미지의 ROI를 추출한다.

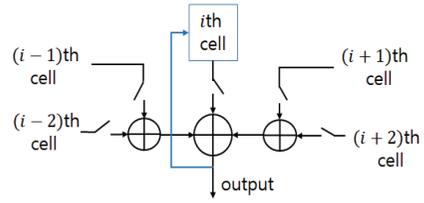


그림 1. 선형 5-이웃 CA의 구조  
Fig. 1 Structure of linear 5-neighbor CA

## 2.3 5-이웃 셀룰러 오토마타

1차원 3-이웃 90/150 CA는 대칭키 암호 시스템에서 효과적인 의사난수열 생성기로 적용된다. Maitiet 등은 1차원 5-이웃 CA에 의해 생성된 이진 수열의 랜덤성을 확인하기 위해 24비트 선형 최대 길이 5-이웃 CA를 사용하여 15번의 검사로 구성된 NIST 통계 테스트를 수행했다. 그 결과, 5-이웃 CA에 의해 생성된 이진 수열은 랜덤성이 매우 높은 것이 입증되었다 [11]. 본 논문에서는 1차원 3-이웃 90/150 CA보다 공간을 훨씬 크게 가지며 상태 전환의 랜덤 확산 속도를 높여 더 우수한 의사 난수열을 생성시키기 위해 1차원 5-이웃 CA를 적용한다. 최대 주기를 가지는 1차원 5-이웃 CA는 2차원 CA 설계의 복잡성과 분석의 어려움을 해결하고, 각 셀에 적용할 수 있는 전이 규칙의 수는 1차원 90/150 CA보다 4배 이상 많다[12, 13].

5-이웃 CA의 상태전이 함수는 이웃의 반경이 2이므로 이웃의 개수가 5이다. 식(1)은 본 논문에서 사용되는 1차원 5-이웃 선형 CA의 전이 함수이다.

$$s_i^{t+1} = a s_{i-2}^t \oplus b s_{i-1}^t \oplus c s_i^t \oplus d s_{i+1}^t \oplus e s_{i+2}^t \quad \dots \quad (1)$$

여기서  $s_i^t$ 는 시간  $t$ 에서  $i$ 번째 셀의 상태이며,  $a, b, c, d, e$ 는 각 셀이  $i$ 번째 셀의 상태전이에 영향을 주는지 여부에 대한 의존도를 나타내며 규칙에 따라 1 또는 0의 값을 가진다. 따라서 하나의 셀에 적용할 수 있는 선형 규칙의 수는  $2^5 - 1 = 31$ 개다. 그림 1은 1차원 5-이웃 선형 CA의 셀의 구조이다. 1차원 5-이웃 선형 CA는 하드웨어 친화적 연산이 가능하므로 이러한 CA기반의 암호알고리즘은 수학적 함수를 기반으로 하는 카오틱 함수 기반의 암호알고리즘보다 처리 속도가 빠른 것이 장점이다.

### III. 제안하는 ROI 이미지 암호 알고리즘

제안하는 알고리즘은 하드웨어 친화적 연산이 가능한 1차원 5-이웃 선형 CA기반의 선택적 암호 알고리즘이다. 그림 2는 제안하는 알고리즘에 대한 순서도이다.

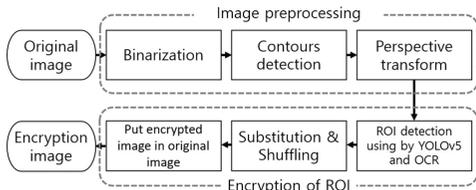


그림 2. 제안하는 ROI 이미지 암호 알고리즘 순서도

Fig. 2 Flowchart of proposed ROI image encryption algorithm

제안하는 암호화 방법은 주어진 원본 이미지에서 ROI 영역을 식별하는 것으로 시작한다. 신분증 이미지에서 ROI를 암호화하기 위해서는 먼저 전체 이미지에서 전처리 과정을 거쳐 신분증 영역을 검출해야 한다. 이를 위해 임의의 경계값을 설정하여 픽셀을 두 개의 클래스로 나누고 두 클래스의 강도 분포를 반복적으로 구한 다음 두 클래스의 분포가 가장 균일한 경계값을 선택한다.  $T$ 가 특정 임계값이면  $T$ 를 기준으로 이진 분류된 픽셀의 비율 차이가 가장 작은 최적의  $T$ 를 구한다. 이진화는 주어진 컬러 이미지를 먼저 회색조 이미지로 변환한 후 Otsu의 알고리즘을 이용하여 최적의 임계값을 도출하고 도출된 임계값을 기반으로 이미지를 이진화한다. 다음으로 이진화를 통해 얻은 결과에서 이미지의 윤곽을 감지한다. 검출된 신분증 영역의 외곽선이 서로 평행하지 확실하지 않기 때문에 원근 변환을 통해 검출된 신분증 영역을 직사각형 모양으로 만든다. 전처리 과정을 마친 신분증 이미지에서 가장 민감한 정보를 가진 ROI를 암호화하기 위해 먼저 ROI의 좌표를 찾아야 한다. 신분증의 ROI를 얼굴 이미지와 주민등록번호 13자리 중 뒤 7자리로 설정한다. 제안하는 ROI 이미지 암호화 시스템은 다음 세 단계로 구성된다.

• **신분증에서 얼굴 이미지 ROI 감지:** Roboflow '얼굴 감지 이미지 데이터 세트'는 얼굴 감지 모델을 구현하기 위해 YOLOv5를 사용하여 훈련된다. 전처리

된 신분증 이미지를 학습된 모델에 넣어 얼굴 부분을 찾고, 찾은 부분에 그려진 바운딩 박스의 좌표를 받아 얼굴 부분의 좌표를 구한다. 그림 3은 원본이미지에 대하여 YOLO를 이용하여 얼굴을 검출한 결과를 보인다.

• **주민등록번호 뒷자리 ROI 검출:** 주민등록번호 뒤 7자리 숫자를 검출하기 위해 높은 성능을 갖는 광학문자인식(OCR) 오픈 소스 중 한글 인식률이 높은 easyOCR 라이브러리를 사용한다. easyOCR이 제공하는 readtext()를 통해 글자들의 내용과 좌표를 리턴 받고, 주민등록번호 전체 중 뒷자리 부분만을 ROI로 슬라이싱한다. 그림 4는 easyOCR을 이용한 글자를 검출하는 과정이다.

• **ROI 이미지 암호화:** 탐지된 ROI는 하드웨어 친화적 계산이 가능한 1차원 5-이웃 CA 기반으로 암호화된다. 이미지 암호화 과정은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 과정은 키 수열 생성기인 1차원 5-이웃 CA에서 생성된 키 수열을 ROI 원본 이미지와 XOR하여 이미지 픽셀 값을 원본 이미지의 픽셀 값과 완전히 다른 새로운 값으로 변경하는 과정이다. 두 번째 과정은 첫 번째 과정에서 얻은 이미지 픽셀의 위치를 1차원 5-이웃 CA를 사용하여 재배열한다. 이러한 과정의 목적은 픽셀의 위치를 변경하여 노이즈 및 부분 삭제 공격에 강한 암호화 시스템을 설계하고자 하는 것이다.



그림 3. YOLO를 이용한 얼굴 검출  
Fig. 3 Face detection using YOLO



그림 4. easyOCR를 이용한 글자 검출  
Fig. 4 Character detection using easyOCR



그림 5. ROI 암호화 수행 결과  
Fig. 5 ROI encryption performance results

그림 5는 입력된 원본 이미지에 대해 ROI 암호화를 수행한 결과이다. 그림 5의 암호화 이미지는 ROI영역의 원 이미지를 육안으로는 식별할 수 없다. 복호화 과정은 암호화 과정의 역순으로 진행된다.

#### IV. 실험 및 분석

임의의 공격으로부터 이미지를 보호하기 위해서는 원 이미지와 암호화된 이미지 사이에 통계적 유사성이 없어야 한다. 제안하는 이미지 암호화 시스템이 다양한 무차별 암호 대입 공격에 안전한지 검증하기 위해 신분증의 ROI에 대해 엔트로피 분석, 히스토그램 분석, 상관관계 분석을 수행한다.

이미지는 중복도가 매우 높으며 인접한 픽셀 간의 상관관계가 매우 높은 것이 그 특징이다. 제안하는 암호 알고리즘 성능을 평가하기 위해 특정한 픽셀값에 대한 히스토그램을 분석한다. 그림 6은 원본 이미지 신분증의 ROI에 대한 원본 이미지와 암호화된 이미지의 히스토그램 분석 결과를 보여준다.

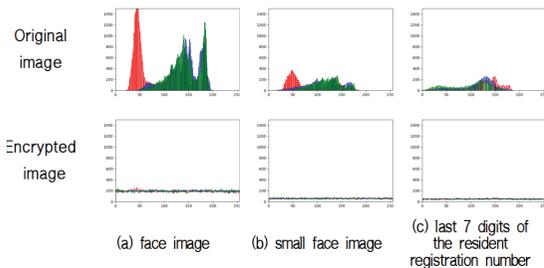


그림 6. 원본 이미지와 암호 이미지의 히스토그램  
Fig. 6 Histograms of original and encrypted images

히스토그램 분석을 위해 신분증에서 ROI로 채택한 3개의 이미지인 큰 얼굴 이미지(a), 작은 얼굴 이미지(b), 주민등록번호 뒤 7자리(c)에 대하여 원본 이미지와 암호화 이미지에 대한 히스토그램을 분석한 결과를 보면 원본 이미지는 어떤 특정한 값에 대해 빈도수가 매우 높은 것과 달리 암호화된 이미지의 히스토그램은 모든 픽셀 값이 골고루 나오는 균일한 분포를 보여준다. 이 결과를 통해 암호화된 이미지에서는 원본 이미지의 통계적 특성이 소실되었음을 알 수 있다.

이론적으로 모든 암호화된 이미지는 우연히 원본 이미지로 해석될 수 있다. 암호시스템에 의해 생성된 이미지는 정보 불확실성이 높아야 한다. 이 속성을 나타내는 지표가 정보 엔트로피이다. 식(2)는 엔트로피를 구하는 식이다.

$$H(m) = - \sum_{i=0}^{2^n-1} p(m_i) \log_2 p(m_i) \quad \dots (2)$$

여기서  $m$ 은 정보의 소스이고,  $p(m)$ 은  $p$ 가 나타날 확률이다. 픽셀 값이 0~255인 이미지의 경우 엔트로피가 8에 가까울수록 정보를 예측하기 어렵다. 이미지 샘플을 실험한 결과 암호화된 이미지의 평균 엔트로피는 7.9892로 최댓값인 8에 매우 근접했다. 이것은 암호 이미지를 가지고 원본 이미지를 예측하는 것이 불가능함을 의미한다.

일반적으로 이미지는 색상보다 모양에서 많은 정보를 드러낸다. 특정 값에 의존하기 보다는 유사한 색상이 특정 영역에 얼마나 집중되어 있는지를 통해 모양을 알아낸다. 따라서 픽셀이 정확히 어떤 색을 띠고 있는지 보다는 인접한 픽셀의 상관관계로 인해 정보가 유출되지 않도록 주의해야 한다. 제안하는 암호화 알고리즘이 통계적 공격으로부터 안전하기 위해서는 암호화된 이미지에서 인접한 픽셀 사이에 상관관계가 없어야 한다. 그림 7은 이미지에서 무작위로 선택된 인접 픽셀 쌍에 대한 상관 분포를 보여준다. 그림 7에서 (a)는 원본 이미지 중 큰 얼굴 이미지에 대한 R, G, B 각 색면에 대한 3방향(가로, 세로, 대각선)의 상관관계 분포도이다. 그리고 (b)는 (a)에 해당하는 이미지에 대한 암호화 이미지의 상관분포이다. 그림 4의 결과를 보면 암호화된 이미지에서는 원본 이미지의 강한 상관관계가 사라진 것을 확인할 수 있다.

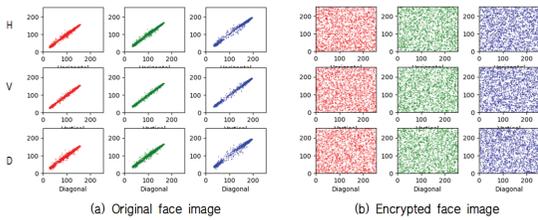


그림 7. 원본 이미지와 암호 이미지의 상관관계 분포 다이어그램

Fig. 7 Correlation distribution diagram of the original image and the encrypted image

## V. 결론

본 논문에서는 주어진 원본 이미지의 중요한 부분만을 선택하여 암호화하고 나머지 부분은 암호화하지 않는 선택적 이미지 암호화 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 실시간 전송 환경에서 사용할 수 있는 ROI 기반 이미지 암호화 알고리즘으로, YOLOv5 및 easyOCR을 사용하여 ROI를 전체 이미지에서 감지할 수 있도록 설계하였다. 이후 선택된 ROI에 대하여 하드웨어 친화적 연산이 가능한 1차원 5-이웃 선형 CA를 이용하여 의사 난수열을 생성하여 효과적으로 이미지를 암호화하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘의 안전성을 검증하기 위해 샘플 이미지에 대해 다양한 통계 분석을 수행하였다. 수행된 테스트는 히스토그램분석, 엔트로피분석, 상관관계 분포 다이어그램으로 히스토그램 분석에서는 원본 이미지와 달리 암호화 이미지에서는 모든 픽셀 값이 골고루 나오는 균일한 분포를 보였으며, 암호화된 이미지에 대한 평균엔트로피는 7.9892로 최댓값 8에 매우 근접하였다. 또한 상관관계 분포 다이어그램 실험에서는 원본 이미지가 가지고 있는 픽셀간의 강한 상관관계가 암호화 이미지에서는 사라진 것을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과는 제안된 암호 알고리즘이 다양한 무차별 대입 공격으로부터 안전함을 입증하는 것이다. 제안하는 ROI 기반 이미지 암호화 알고리즘은 신분증뿐만 아니라 의료이미지와 같은 민감한 개인정보가 포함된 다른 영상에도 적용 가능할 것으로 사료된다.

본 논문은 2022년 한국전자통신학회 추계 학술대회 우수논문으로 선정된 “실시간 데이터 전송 환경에서의 개인 정보보호를 위한 선택적 이미지 알고리즘”을 수정 및 확장한 것임

## References

- [1] J. S. Khan and J. Ahmad, "Chaos based efficient selective image encryption," *Multimed Syst Sign Process*, vol. 30, 2019, pp. 943-961.
- [2] P. S. Kumar, C. S. U. Sampreeth, and S. A. K. Reddy, "Image Encryption and Decryption Algorithm Using Two Dimensional Cellular Automata Rules In Cryptography," *International Journal of Computer Science Engineering*, vol. 6, no. 01, 2017, pp. 1-9.
- [3] W. Zhang, Z. Zhu, and H. Yu, "A Symmetric Image Encryption Algorithm Based on a Coupled Logistic-Bernoulli Map and Cellular Automata Diffusion Strategy," *Entropy*, vol. 21, no. 5, 2019, pp. 1-23.
- [4] U. Choi, S. Cho, and S. Kang, "1-D Symmetric 5-Neighbor MLCA Based Color Image Encryption," In *Proc. of International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, Chengdu, China, April 2021, pp. 369-374.
- [5] H. M. Ghadirli, A. Nodehi, and R. Enayatifar, "An overview of encryption algorithms in color images," *Signal Processing*, vol. 164, 2019, pp. 163-185.
- [6] P. Ping, X. Zhang, X. Yang, and Y. A. A. Hashems, "A novel medical image encryption based on cellular automata with ROI position embedded," *Multimed Tools Appl.*, vol. 81, 2022, pp. 7323-7343.
- [7] W. Song, C. Fu, Y. Zheng, L. Cao, M. Tie, and C. Sham, "Protection of image ROI using chaos-based encryption and DCNN-based object detection," *Neural Comput & Applic.* vol. 34, no. 7, 2022, pp. 5743-5756.
- [8] A. G. Phatak, "A Secure Algorithm for Region of Interest (ROI) Encryption for RGB Color Images," *I.J. Image, Graphics and Signal Processing*, vol. 8, no. 7, 2016, pp. 67-72.
- [9] T. Chen, and C. Yang, "Region of Interest

- Encryption Based on Novel 2D Hyperchaotic Signal and Bagua Coding Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, 2022, pp. 82751-82765.
- [10] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: unified, real-time object detection," In *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, June 2016, pp. 779-788.
- [11] S. Maiti and D. Chowdhury, "Study of five-neighborhood linear hybrid cellular automata and their synthesis," *2017 the 3rd Int. Conf. on Mathematics and Computing*, Haldia, India, Jan. 2017, pp. 68-83.
- [12] U. Choi, H. Kim, S. Kang, and S. Cho, "Design of Key Sequence Generators Based on Symmetric 1-D 5-Neighborhood CA," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 3, June 2021, pp. 533-540.
- [13] U. Choi, "Synthesis of asymmetric one-dimensional 5-neighbor linear MLCA," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 2, Apr. 2022, pp. 333-342.

## 저자 소개



### 최언숙(Un-Sook Choi)

1992년 성균관대학교 산업공학과 졸업(공학사)

2000년 부경대학교 대학원 응용수학과 졸업(이학석사)

2004년 부경대학교 응용수학과 졸업(이학박사)

2009년 부경대학교 정보보호학과 졸업(공학박사)

2009년~ 현재 동명대학교 AI학부 교수

※ 관심분야 : 셀룰러 오토마타론, 정보보호, 사물인터넷, 이미지 암호

