

논문 2012-49CI-2-14

# DE 기반의 적응적인 가역정보은닉기법

## ( DE-Based Adaptive Reversible Data Hiding Scheme )

최 장 희\*, 윤 은 준\*\*, 유 기 영\*\*\*

( Jang-Hee Choi, Eun-Jun Yoon, and Kee-Young Yoo )

### 요 약

공간 도메인에서 많은 DE 기반의 가역정보은닉 기법과 히스토그램 쉬프팅 기반의 가역정보은닉 기법들이 제안되어 왔다. 히스토그램 쉬프팅 기반의 가역정보은닉 기법은 스테고 이미지의 왜곡이 적다는 장점을 갖는다. 하지만 비밀 데이터의 삽입 용량이 적고, 추가 데이터가 많다는 단점이 있다. 이에 반해, DE 기반의 가역정보은닉 기법은 높은 삽입 용량을 갖는다는 장점이 있지만 스테고 이미지의 왜곡이 많다는 단점이 있다. 본 논문에서는 삽입 용량을 유지하지만 스테고 이미지의 왜곡을 줄이는 DE 기반의 가역정보은닉 기법을 제안한다. 본 논문에서는 비밀 데이터를 삽입하기 전에 예측 오차들을 블록으로 나눈 후, 각 블록에 비밀 데이터를 삽입할 수 있는지 확인한다. 만약 블록에 한 비트의 비밀 데이터만이라도 삽입하면 블록의 픽셀들은 변화한다. 제안하는 기법은 PSNR이 50dB 이상으로 다른 DE 기반의 가역정보은닉 기법보다 스테고 이미지의 왜곡을 줄인다.

### Abstract

The many DE based data hiding schemes and the many data hiding schemes based on Histogram shifting are researched in spatial domain. The data hiding scheme based on Histogram shifting have an advantage of low distortion of the stego image. But the capacity is low than other schemes. On the other hands, the DE based data hiding schemes have an advantage of high capacity. But the quality of the stego image is low. In this paper, new data hiding scheme which has the similar capacity but the increased quality of the stego image is proposed. The prediction error is divided into blocks to embed the secret data in this scheme. The prediction errors in the block are scanned before the secret data is embedded. If one prediction error is low than the threshold at least, the block is changed to embed the secret data. Otherwise the secret data is not embedded. The distortion of the stego image is minimized by this method. But the block that the secret data embedded is marked in location map. So the additional information to extract the secret data and recover the cover image is needed.

**Keywords** : Steganography(스태가노그래피), Reversible data hiding(가역 정보 은닉), DE based(차이 값 확장 기법), 예측 기법(Prediction Tecuqniqu)

## I. 서 론

컴퓨터의 개발로 많은 정보들이 디지털 형태로 저장된다. 디지털 매체들은 쉽게 복사될 수 있고, 쉽게 변경될 수 있기 때문에, 여러 가지 정보 보호 기법 중 정보 은닉(information hiding) 기법은 암호화와 함께 기밀성을 보장하기 위해 사용한다. 정보은닉 기법은 디지털 매체를 변경함으로써 디지털 매체에 데이터를 삽입한다. 삽입되는 데이터는 저작권자의 정보를 나타내는

\* 정희원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

\*\* 정희원, 경일대학교 사이버보안학과  
(Department of Cyber Security, Kyungil University)

\*\*\* 정희원-교신저자, 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부  
(School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University)

※ 본 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비와 2012년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음  
접수일자: 2011년2월17일, 수정완료일: 2012년3월5일

copyright일 수도 있고, 다른 사람과 공유하려는 비밀 데이터일 수도 있다. 만약 정보의 비밀 공유를 목적으로 하면, 스테가노그래피(steganography)라 하고, 저작권의 보호를 위한 목적이라면 워터마킹(watermarking)이라 한다<sup>[1]</sup>.

데이터를 추출한 이 후, 데이터의 삽입(embedding)으로 변경되었던 디지털 매체는 삭제되거나 변경된다. 하지만 군, 병원 등에서는 디지털 매체의 조그만 변경도 허용이 되지 않는다. 따라서 변경 없이 디지털 매체를 다시 저장하는 기법이 개발되었다<sup>[2]</sup>. 이는 가역정보은닉(reversible data hiding) 기법이라 부른다. 가역정보은닉 기법에서 비밀 데이터의 삽입으로 변경된 디지털 매체는 데이터를 추출한 이 후, 데이터를 삽입하기 이전의 디지털 매체로 복원될 수 있다.

지난 10년 동안 수많은 가역정보은닉 기법들이 제안되어 왔다. 하지만 이러한 기법들은 삽입 용량(embedding capacity)이 매우 제한적이고 스테고 이미지의 왜곡이 많이 발생하였다. 하지만 2003년 Tian은 미리 지정되지만 변경할 수 있는 임계치(threshold)에 따라서 삽입 용량과 스테고 이미지의 왜곡을 조절하는 DE(Difference Expansion)기법을 새로운 가역정보은닉 기법으로 제안하였다<sup>[3]</sup>. Tian이 제안한 기법은 커버 이미지의 모든 픽셀을 이웃하고, 다른 쌍과 중복되지 않는 픽셀 쌍으로 구분하였다. 그리고 비밀 비트(secret bit)는 각 픽셀 쌍의 차이를 확장하여 삽입되었다. 이 기법은 이론적으로 최대 0.5 bpp를 삽입할 수 있지만, 임계치의 크기에 따라서 삽입 용량은 변화한다. 일반적으로 삽입 용량이 클수록 스테고 이미지의 왜곡은 많아진다.

2006년, Ni 등은 히스토그램(histogram) 기반의 가역정보은닉 기법을 제안하였다<sup>[4]</sup>. 이 기법은 처음으로 히스토그램에서 피크 포인트(peak point)와 제로 포인트(zero point)를 찾는다. 피크 포인트는 커버 이미지에서 가장 많은 빈도의 픽셀을 나타내고 제로 포인트는 가장 적은 빈도의 픽셀을 나타낸다. 히스토그램에서 피크 포인트와 제로 포인트 사이에 해당하는 픽셀들을 제로 포인트 쪽으로 1씩 쉬프트(shift)함으로써, 비밀 데이터를 삽입할 수 있다. 또한 픽셀들의 최고 변화량이 1 이고 피크 포인트와 제로 포인트 사이의 픽셀들만 변경되기 때문에 기존의 가역정보은닉 기법들에 비하여 스테고 이미지의 왜곡이 가장 적게 발생한다.

그 이외에 기법들이 Tian과 Ni 등의 기법을 기반으

로 삽입 용량을 향상시키고 스테고 이미지의 왜곡을 줄이기 위하여 연구되었다<sup>[5-15]</sup>.

2007년 Thodi와 Rodriguez는 예측 기법(prediction technique)을 통해 계산된 예측 오차(prediction error) 확장 기법을 제안하였다. 이 기법은 주변에 있는 픽셀들을 이용하여 계산된 예측 픽셀(prediction value)과 픽셀의 차이를 확장하는 DE 기법이다. 이 기법은 이론적으로 거의 1bpp의 삽입 용량으로 다른 DE 기반의 가역정보은닉 기법들에 비해 삽입 용량을 증가시켰다<sup>[5]</sup>. 2010년 Tsai 등은 이미지를 블록으로 나누어, 각 블록에서 중간 픽셀을 베이스로 다른 픽셀들과의 차이를 이용하여 히스토그램을 만들었다. 그리고 각 블록에 해당하는 히스토그램을 이용하여 비밀 데이터를 삽입한다. 기존의 기법들보다 스테고 이미지의 왜곡이 적게 발생하고 삽입 용량을 증가시켰다<sup>[6]</sup>.

2010년 Lee 등은 새로운 예측 기법을 사용하여 기존의 DE 기법보다 많은 삽입 용량을 갖는 기법을 제안하였다<sup>[7]</sup>. 일반적으로 예측 기법을 이용하여 제안되는 기법들의 경우, 예측 기법의 효율에 따라서 삽입 용량과 스테고 이미지의 왜곡이 변화한다. 현재 DE기법을 기반으로 제안된 DE 기법들의 경우, Lee 등이 사용한 예측 기법이 가장 좋은 결과를 보인다. 하지만 Lee등은 첫 번째 열과 줄의 픽셀들을 사용하지 않는다. 또한 다른 DE 기반의 기법들과 마찬가지로 비밀 비트가 삽입되지 않는 모든 픽셀들을 변경해야 하므로, 스테고 이미지의 왜곡이 많이 발생한다.

본 논문에서는 Lee 등의 논문을 향상시켰다. 커버 이미지의 변화에 따라서 비밀 데이터의 삽입 여부를 결정하는 DE 기반의 적응적인 가역정보은닉 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 Lee 등이 사용하는 예측 기법을 사용하고, 첫 번째 줄과 열에 해당되는 픽셀들을 이용하여 두 가지의 예측 기법을 추가로 사용하여, 삽입 용량을 유지하거나 다소 향상시킨다. 또한 예측 기법을 통해 계산된 예측 에러들을 블록으로 나누고, 각 블록의 예측 오차를 스캔하여 해당 블록의 비밀 데이터 삽입 여부를 결정한다. 만약 비밀 데이터를 삽입할 수 없는 블록이라면, 해당 블록의 픽셀들을 변경하지 않기 때문에, 스테고 이미지의 왜곡이 줄어든다. 또한 추가 정보가 생성되지만, 추가 정보의 양에 반비례하여 스테고 이미지의 왜곡이 적어지거나 많아진다.

본 논문의 II장에서는 DE 기법과 Lee 등이 제안하는 기법들을 간략히 살펴본다. III장에서는 제안하는 기법

의 삽입 과정과 추출 및 복원 과정에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서 실험 결과를 바탕으로 제안하는 기법을 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 2003년에 Tian이 제안한 DE 기법, 다양한 예측 기법 그리고 2010년에 Lee 등이 제안한 가역정보 은닉 기법을 소개한다.

### 1. Difference Expansion 기법

2003년 Tian은 DE 기법을 제안하였다. Tian이 제안한 기법에서, 커버 이미지는 중복되지 않는 픽셀 쌍들로 나누어진다.  $m \times m$  크기의 8 비트의 그레이 스케일(gray scale) 이미지에서, 각 픽셀 쌍  $(u_i, v_i)$ 은,  $0 \leq i \leq m \times m/2$ , 비밀 비트  $s_k$ 를 삽입하기 위해 사용된다. 처음, 차이  $d_i$ 와 평균  $l_i$ 을 식 (1)의 두 식을 이용하여 계산한다.

$$d_i = u_i - v_i, \quad l_i = \lfloor (u_i + v_i)/2 \rfloor \quad (1)$$

그 다음, 식 (2)를 이용하여 새로운 차이  $d'_i$ 를 계산한다.

$$d'_i = 2 \times d_i + s_k \quad (2)$$

마지막으로, 스테고 이미지의 픽셀 쌍  $(u'_i, v'_i)$ 을 식 (3)의 두 식을 이용하여 계산한다.

$$u'_i = l_i + \lfloor (d'_i + 1)/2 \rfloor, \quad v'_i = l_i - \lfloor d'_i/2 \rfloor \quad (3)$$

언더플로우와 오버플로우를 예방하기 위해서, 새로운 차이는 식 (4)의 조건에 만족해야 한다.

$$|d'_i| \leq \min(2 \times (255 - l_i), 2 \times l_i + 1) \quad (4)$$

로케이션 맵은 식 (4)의 조건에 만족하거나 만족하지 않는 픽셀 쌍을 구분해야하기 때문에 필요하다.

추출 및 과정에서는 삽입된 비밀 비트  $s_k$ 와 커버 이미지가 복원될 수 있다. 우선 비밀 비트는 스테고 이미지의 픽셀 쌍에서 계산한 차이  $d'_i$ 의 마지막 비트(LSB, Least Significant Bit)이다. 스테고 이미지의 픽셀 쌍의 차이는 식 (5)로 계산한다.

$$d'_i = u'_i - v'_i \quad (5)$$

그리고 식 (6)으로 픽셀 쌍의 평균을 계산한다.

$$l_i = \lfloor (u'_i + v'_i)/2 \rfloor \quad (6)$$

커버 이미지의 픽셀 쌍을 계산하기 위해 먼저 원래의 차이  $d$ 를 식 (7)로 계산한다.

$$d_i = \lfloor d'_i/2 \rfloor \quad (7)$$

마지막으로 커버 이미지의 픽셀 쌍  $(u_i, v_i)$ 은 식 (8)의 두 식으로 계산할 수 있다.

$$u_i = l_i + \lfloor (d_i + 1)/2 \rfloor, \quad v_i = l_i - \lfloor d_i/2 \rfloor \quad (8)$$

### 2. 예측 기법

픽셀 예측 기법(prediction technique)은 디지털 이미지의 무손실 압축에서 사용되는 기술이다. JPEG 알고리즘 또한 예측 기법을 사용하여 무손실 압축을 지원하고 있다<sup>[6]</sup>. 하지만 예측 기법으로 생성되는 예측 오차를 DE 기법 또는 히스토그램 시프트 기법에 적용할 경우, 스테고 이미지의 왜곡이 줄어들고, 삽입 용량이 늘어난다. 따라서 많은 가역정보 은닉 기법이 픽셀 예측 기법을 사용한다. 픽셀 예측 기법에는 다음과 같은 기법들이 있다<sup>[7]</sup>.

수평 예측 기법(horizontal predictor) :

$$P_{x,y} = I_{(x-1,y)}$$

수직 예측 기법(vertical predictor) :

$$P_{x,y} = I_{(x,y-1)}$$

원인 가중 평균 기법 (causal weighted average) :

$$P_{x,y} = \frac{(2 \times I_{x-1,y} + 2 \times I_{x,y-1} + I_{x-1,y-1} + I_{x-1,y+1})}{6} \quad (9)$$

$P_{x,y}$ 는 예측 픽셀이고  $I_{x,y}$ 는 현재 픽셀이다.  $x$ 와  $y$ 는 픽셀의 위치를 나타낸다.

이 외에도 많은 픽셀 예측 기법들이 있지만 생략한다. 하지만 본 논문에서는 Lee 등이 사용하였던 예측 기법을 사용한다. 해당 예측 기법은 식 (10)와 같다.

$$P_{x,y} = \lfloor (I_{x-1,y} + I_{x,y-1})/2 \rfloor \quad (10)$$

식 (10)의 예측 기법을 사용하였을 때, 제안하는 기법은 가장 많은 비밀 데이터를 숨길 수 있다.

### 3. Lee 등이 제안한 기법

2010년 Lee등은 DE 기반의 새로운 가역정보은닉 기법을 제안하였다. Lee등이 제안하는 논문은 새로운 예측 기법을 사용하여 삽입 용량을 향상시켰다. 삽입 과정에서 처음에 식 (10)을 사용하여 예측 픽셀  $P_{x,y}$ 를 계산한다. 그리고 식 (11)을 이용하여 예측 오차  $e_{x,y}$ 를 계산한다.

$$e_{x,y} = |I_{x,y} - P_{x,y}| \quad (11)$$

식 (11)에서  $I_{x,y}$ 는 커버 이미지의 픽셀을 나타낸다. 이때 커버 이미지의 첫 번째 줄과 열은,  $x=0$  또는  $y=0$  일 경우, 예측 오차를 계산하지 않는다. 그리고  $T$ 를 이용하여 두 경우로 분류한다.

**Case1** : 만약  $e_{x,y} \leq T$  이면, 식 (12)로 비밀 비트  $s_k$ 를 삽입한다.

$$I'_{x,y} = \begin{cases} P_{x,y} + 2 \times e_{x,y} + s_k & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ P_{x,y} - 2 \times e_{x,y} - s_k & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

**Case2** : 만약  $e_{x,y} > T$  이면, 식 (13)으로 픽셀을 변경한다.

$$I'_{x,y} = \begin{cases} I_{x,y} + (T+1) & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ I_{x,y} - (T+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

마지막으로 이 과정을 커버 이미지의 마지막 픽셀이 계산될 때 까지 반복하여 스테고 이미지를 얻는다. Lee 등은 언더플로와 오버플로우가 발생을 방지하기 위해 히스토그램 쉬프팅 기법을 이용하였다. 삽입 과정에 들어가기 전에, 커버 이미지에 대한 히스토그램에서  $[0, T+1]$ 와  $[255 - (T+1), 255]$ 에 해당하는 픽셀들을 각각  $T+2$ 와  $255 - (T+2)$  픽셀로 변경해준다. 그 다음 변경된 픽셀과 본래의 픽셀 구분하기 위하여 추가 정보를 생성한다. Lee 등이 제안한 기법은 커버 이미지의 첫 번째 줄과 열에 해당하는 픽셀은 비밀 데이터를 삽입하는데 사용하지 않는다. 또한 이미지에 변화가 많이 일어나 예측 픽셀이 임계치 보다 큰 영역도 삽입 과정에서 변경되어 스테고 이미지의 왜곡이 일어난다.

추출 및 복원 과정은 삽입 과정과 비슷하다. 처음으로 식 (10)을 이용하여 예측 픽셀을 계산한다. 이 때, 삽

입 과정에서 변경된 픽셀을 이용하여 계산하지 않고, 커버 이미지와 동일하거나 복원된 픽셀을 이용하여 예측 픽셀을 계산한다. 식 (14)를 이용하여 예측 오차를 계산한다.

$$e'_{x,y} = |I'_{x,y} - P_{x,y}| \quad (14)$$

만약  $e'_{x,y} \leq 2 \times T + 1$ 이면, 식 (15)을 이용하여 비밀 비트  $s_k$ 를 복원한다.

$$s_k = e'_{x,y} - 2 \times \lfloor e'_{x,y}/2 \rfloor \quad (15)$$

마지막으로 삽입 과정으로 변경된 픽셀  $I'_{x,y}$ 은  $e'_{x,y}$ 의 크기에 따라 두 가지 경우로 분류하여 커버 이미지의 픽셀  $I_{x,y}$ 로 복원한다.

**Case 1** : 만약  $e'_{x,y} \leq 2 \times T + 1$ 이면, 식 (16)을 이용하여 픽셀을 복원한다.

$$I_{x,y} = \begin{cases} P_{x,y} + \lfloor e'_{x,y}/2 \rfloor & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ P_{x,y} - \lfloor e'_{x,y}/2 \rfloor & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

**Case 2** : 만약  $e'_{x,y} > 2 \times T + 1$  이면, 식 (17)을 이용하여 픽셀을 복원한다.

$$I_{x,y} = \begin{cases} I'_{x,y} - (T+1) & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ I'_{x,y} + (T+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

이 과정은 스테고 이미지의 마지막 픽셀이 계산될 때까지 반복된다. 그리고 복원된 픽셀이  $T+2$  또는  $255 - (T+2)$ 와 같으면, 추가 정보를 이용하여 각각  $[0, T+1]$ 와  $[255 - (T+1), 255]$ 에 있는 본래 픽셀로 복원한다.

## III. 제안하는 기법

본 장에서는 DE 기반의 새로운 가역정보은닉 기법을 제안한다. 기존 DE 기반의 가역정보은닉 기법들은 픽셀들의 변화량에 상관없이, 동일한 방법을 적용하여 비밀 데이터를 삽입하여 스테고 이미지의 왜곡이 많이 발생하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 이미지를 블록으로 나눈 후, 각 블록의 픽셀 변화량을 분석하여, 비밀 데이터의 삽입여부를 결정한다. 이는 픽셀의 변화량이 많은 곳에는 비밀 데이터를 삽입하지 않고, 픽셀을 변화를 최소화함으로써, 스테고 이미지의 왜곡을 줄인다.

1. 삽입과정

삽입 과정에서는 커버 이미지에 비밀 데이터를 삽입한다. 이 과정에서 커버 이미지의 픽셀이 변경되는데, 제안하는 기법은 변경되는 픽셀을 최소화하였다. 다음은 삽입 과정에 대한 설명이다.

**Input:** 커버 이미지  $I$ , 비밀 데이터  $S$ , 임계치  $T$ , 블록 크기  $M$

**Output:** 스테고 이미지  $I'$ , 블록 크기, 임계치, 로케이션 맵1, 로케이션 맵2

**Step 1:** 예측 오차  $P_{x,y}$ 를 계산한다. 우선 식 (18)을 이용하여 커버 이미지의 첫 번째 픽셀을 제외한 모든 픽셀의 예측 픽셀을 계산한다.

$$P_{x,y} = \begin{cases} I_{x-1,y} & \text{if } y = 0 \\ I_{x,y-1} & \text{if } x = 0 \\ \lfloor (I_{x-1,y} + I_{x,y-1})/2 \rfloor & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

그리고 식 (19)를 이용하여 첫 번째 픽셀을 제외한 모든 픽셀에 대한 예측 오차를 계산한다.

$$e_{x,y} = |I_{x,y} - P_{x,y}| \quad (19)$$

**Step 2:** 예측 오차를 블록으로 나눈다. 예측 오차로 이루어진 이미지를 크기가  $M \times M$ 인 블록들

로 나눈다. 만약 한 블록을 완성하지 못하는 픽셀들이 존재하면, 해당 픽셀들은 변경하지 않는다.

**Step 3:** 블록에 비밀 데이터를 삽입할 수 있는지 확인한다. 만약 모든 예측 오차가 임계치  $T$  보다 크면 블록은 비밀 데이터의 삽입에 사용되지 않고, 블록을 나타내는 로케이션 맵1에 위치가 표시된다. 하지만 하나의 예측 오차라도  $T$  보다 작으면 해당 블록은 다음 비밀 데이터의 삽입에 사용된다.

**Step 4:** 비밀 데이터를 삽입하고, 스테고 이미지를 생성한다. 만약 예측 오차  $e_{x,y}$  또는 픽셀  $I_{x,y}$ 가 비밀 데이터를 삽입하지 않는 블록에 포함될 경우, 다음 블록의 첫 번째 픽셀로 이동하여 3번째 단계부터 다시 시작한다. 만약 하나 이상의 예측 오차가  $T$ 보다 작거나 같으면,  $T$ 를 이용하여 예측 오차를 두 경우로 분류한다.

**Case 1:** 만약  $e_{x,y} \leq T$  이면, 식 (20)로 비밀 비트  $s_k$ 를 삽입한다.

$$I'_{x,y} = \begin{cases} P_{x,y} + 2 \times e_{x,y} + s_k & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ P_{x,y} - 2 \times e_{x,y} - s_k & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

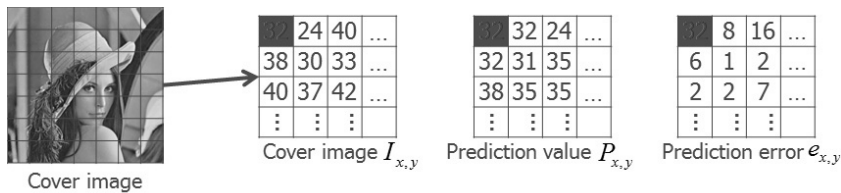


그림 1. 커버 이미지의 예측 픽셀 계산 단계  
Fig. 1. Prediction pixel computation step of cover image.

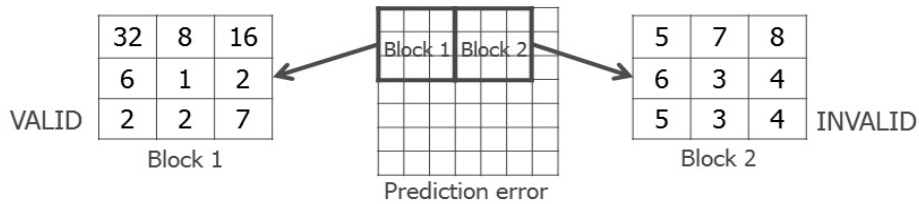


그림 2. 블록에 대한 삽입 유효성 판별 단계,  $T=2$  일 경우  
Fig. 2. Insertion validation determine step for block (when  $T=2$ ).

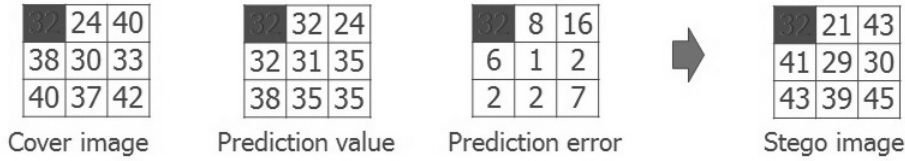


그림 3. 스테고 이미지 형성 단계,  $T=2$  이고  $S=0110_2$  일 경우  
 Fig. 3. Stego image making step (when  $T=2$  and  $S=0110_2$ ).

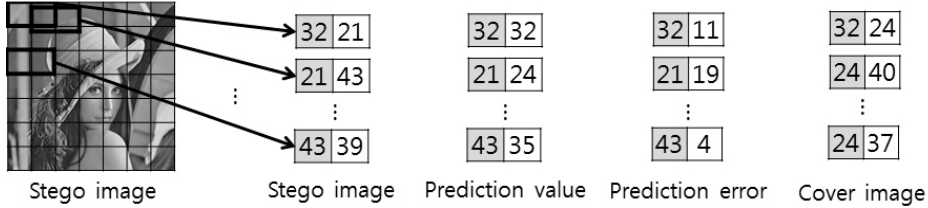


그림 4. 복원 및 추출 과정  
 Fig. 4. Recovering and extraction phase.

**Case 2:** 만약  $e_{x,y} > T$  이면, 식 (21)으로 픽셀을 변경한다.

$$I'_{x,y} = \begin{cases} I_{x,y} + (T+1) & \text{if } P_{x,y} \leq I_{x,y} \\ I_{x,y} - (T+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

만약  $0 \leq I'_{x,y} \leq 255$ 를 만족하지 않으면, 언더플로우 또는 오버플로우가 발생한다. 이런 경우, 언더플로우와 오버플로우를 표시해주는 로케이션 맵2에 위치를 표시한 후, 커버 이미지의 픽셀을 변경없이 스테고 이미지의 픽셀로 사용한다.

지금부터 삽입 과정을 예제를 통해 좀 더 자세히 설명한다. 그림 1의 첫 번째 테이블과 같이 커버 이미지의 픽셀이 구성되어 있을 때, 식 (18)에 의해 예측 픽셀이 그림 1의 두 번째 테이블에 있는 값들과 같이 변경된다. 만약 커버 이미지의 픽셀이 30 일 경우, 식 (18)의 세 번째 조건에 만족한다. 따라서 예측 픽셀은  $(24 + 38)/2 = 31$ 이다.  $x=1, y=1$ 에 해당하는 위치의 예측 오차는  $(I_{x-1,y} + I_{x,y-1})/2$ 이 된다. 그림 2는 블록 크기가 3일 경우, 각 예측 오차 블록에 비밀 데이터를 삽입할 수 있는지에 대한 여부를 판별하는 과정을 보여준다. 임계치가 2일 때, 첫 번째 블록에서 4개의 예측 오차가 임계치보다 작거나 같다. 따라서 첫 번째 블록은 비밀 데이터를 삽입할 수 있다. 하지만 두 번째 블록은 모든 예측 오차가 임계치보다 크다. 따라서 해당

블록을 로케이션 맵1에 표시한다. 이 후, 해당 블록의 픽셀들은 비밀 데이터가 삽입되지 않고 변경되지 않는다. 그림 3은 비밀 데이터를 삽입할 수 있는 블록으로 비밀 데이터가 0110<sub>2</sub> 일 때의 삽입과정이다. 커버 이미지의 픽셀들과 함께, 삽입 과정의 각 단계에서 만들어진 예측 픽셀, 예측 오차, 그리고 스테고 이미지의 픽셀들을 보여준다. 그림 3에서  $x=0, y=1$  이면, 예측 오차는 8 이고, 임계치 보다 크다. 따라서 Case2에 해당되고 식 (21)로 스테고 이미지의 픽셀을 계산할 수 있다. 그리고  $I_{0,1} < P_{0,1}$ 이므로, 식 (21)의 두 번째 경우에 해당한다. 따라서  $I'_{0,1} = 24 - (2 + 1) = 21$ 이다. 마지막으로  $x=1, y=1$  일 경우, 예측 오차는 1이고,  $I_{1,1} < P_{1,1}$ 이므로, 식 (20)의 두 번째 경우에 해당한다. 비밀 비트가 0일 경우,  $I'_{x,y} = 31 - 2 \times 2 - 0 = 29$  이다.

2. 추출 및 복원 과정

추출 및 복원 과정은 삽입 과정에서 스테고 이미지에서 삽입된 비밀 데이터를 추출하고, 비밀 데이터의 삽입으로 변경된 커버 이미지를 복원한다. 추출 및 복원 과정은 한 픽셀 단위로 모든 과정이 마지막 픽셀까지 반복되어 진행된다. 다음은 추출 및 복원 과정에 대한 설명이다.

**Input:** 스테고 이미지  $I'$ , 블록 크기  $M$ , 임계치, 로

케이션 맵1, 로케이션 맵2

**Output:** 커버 이미지  $I$ , 비밀 데이터  $S$

**Step 1:** 예측 기법을 이용하여 현재 픽셀의 예측 픽셀을 계산한다. 만약 현재 픽셀이 변경되지 않은 블록에 해당된다면 다음 블록의 픽셀부터 현재 과정을 다시 시작한다. 블록의 좌표는 식 (22)로 계산한다.

$$(i, j) = (\lfloor x/M \rfloor, \lfloor y/M \rfloor) \quad (22)$$

식 (22)에서  $(i, j)$ 는 블록의 좌표를 나타낸다.  $x$ 와  $y$ 는 현재 픽셀의 좌표를 나타낸다. 다음으로 로케이션 맵2로 현재 픽셀의 언더플로우 또는 오버플로우가 발생 유무를 확인한다. 만약 변경되지 않은 픽셀이면, 다음 픽셀부터 현재 단계를 다시 시작한다. 예측 픽셀은 식 (23)으로 계산한다.

$$P_{x,y} = \begin{cases} I_{x-1,y} & \text{if } y = 0 \\ I_{x,y-1} & \text{if } x = 0 \\ \lfloor (I_{x-1,y} + I_{x,y-1})/2 \rfloor & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23)$$

예측 픽셀은 커버 이미지와 동일하거나, 복원된 픽셀을 이용하여 계산한다.

**Step 2:** 예측 픽셀을 이용하여 예측 오차  $e'_{x,y}$ 를 계산한다. 식 (24)로 예측 오차를 계산한다.

$$e'_{x,y} = |I'_{x,y} - P_{x,y}| \quad (24)$$

예측 오차는 삽입 과정에서 변경된 예측 오차와 동일해야 하므로, 스테고 이미지의 픽셀을 이용하여 계산한다.

**Step 3:** 비밀 비트  $s_k$ 를 추출한다. 만약  $e_{x,y} \leq T \times 2 + 1$  이면, 비밀 비트  $s_k$ 는 식 (25)로 추출한다.

$$s_k = e'_{x,y} \bmod 2 \quad (25)$$

**Step 4:** 커버 이미지를 복원한다. 커버 이미지를 복원하기 위해선 우선 예측 오차를 두 경우로 분류 한다.

**Case 1:** 만약  $e_{x,y} \leq T$  이면, 식 (26)로 비밀 비트  $s_k$ 를 삽입한다.

$$I_{x,y} = \begin{cases} P_{x,y} + \lfloor e'_{x,y}/2 \rfloor & \text{if } P_{x,y} \leq I'_{x,y} \\ P_{x,y} - \lfloor e'_{x,y}/2 \rfloor & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

**Case 2:** 만약  $e_{x,y} > T$  이면, 식 (27)으로 픽셀을 변경한다.

$$I_{x,y} = \begin{cases} I_{x,y} - (T+1) & \text{if } P_{x,y} \leq I'_{x,y} \\ I_{x,y} + (T+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27)$$

지금부터 추출 및 복원 과정을 간단한 예를 통해 설명하겠다. 그림 4는 추출 및 복원 과정을 통해 계산된 값들을 보여준다. 첫 번째 줄에 위치한 4개의 테이블은 스테고 이미지의 두 번째 픽셀이 복원되는 과정이다. 두 번째 픽셀의 복원이 이루어진 후, 세 번째 픽셀의 복원이 이루어진다. 이와 같이 순차적으로 스테고 이미지의 마지막 픽셀을 계산하면 추출 및 복원 과정이 끝난다. 픽셀의 좌표가  $x=0, y=1$  이고, 블록 크기가 3일 경우  $(i, j) = (\lfloor 0/3 \rfloor, \lfloor 1/3 \rfloor) = (0, 0)$ 의 블록 좌표를 갖는다. 계산된 좌표를 이용하여 블록을 표시해주는 로케이션 맵으로 비밀 데이터가 삽입된 블록인지에 대한 여부를 확인한다. 만약 비밀 데이터가 삽입되지 않은 블록이라면, 다음 단계로 넘어간다. 비밀 데이터가 삽입된 블록이라 가정하면, 두 번째 픽셀은 식 (23)에서 두 번째 조건에 만족하므로 예측 픽셀은 32이다. 그 다음 식 (24)로 예측 오차를 계산한다. 예측 오차는  $|21 - 32| = 11$ 이다. 임계치가 2일 경우,  $11 > 2 \times 2 + 1$  이므로, 비밀 데이터가 삽입되지 않은 경우다. 따라서 식 (27)으로 픽셀을 복원한다. 예측 픽셀이 스테고 이미지의 픽셀보다 큰 경우이므로,  $32 > 21$ , 식 (27)의 두 번째 조건이 만족하여, 커버 이미지의 픽셀은  $21 + (2 + 1) = 24$  이다. 만약 스테고 이미지의 픽셀이 39이고, 예측 픽셀이 35 이면, 예측 오차는 4가 된다.  $4 < 2 \times 2 + 1$  이기 때문에, 해당 픽셀에는 비밀 데이터가 삽입되어 있음을 알 수 있다. 따라서 식 (25)을 이용하여 비밀 비트  $s_k$ 를 계산할 수 있다. 이 경우,  $s_k = 4 - 2 \times \lfloor 4/2 \rfloor = 0$ 이다. 그리고 커버 이미지의 픽셀을 계산하기 위해서 식 (27)을 이용한다.  $I_{2,1} = 35 + \lfloor 4/2 \rfloor = 37$  이다. 따라서 비밀 데이터의 추출 이후, 모든 픽셀은 왜곡이 없이 복원될 수 있다.

IV. 실험 결과

본 장에서는 실험 결과를 바탕으로 제안하는 기법을 분석한다. 실험은 스테고 이미지의 왜곡을 평가하는 PSNR(Peak Signal Noise Ratio)과 비밀 데이터의 삽입 용량을 측정한다. 제안하는 기법은 비밀 데이터의 삽입 시, 두 개의 인자를 사용한다. 따라서 각 인자들의 변화에 따른 실험 결과를 분석한다.

제안하는 기법을 분석하기 위해 그림 5와 같이 총 6개의 512×512 크기의 그레이 스케일 이미지를 이용하였다. 각 이미지에 각 블록 크기와 임계치를 변경하며 20번씩 임의의 비밀 데이터를 삽입하였다. 그리고 일반적으로 스테고 이미지의 왜곡 정도를 측정하는

PSNR을 사용하여 그 결과를 분석한다. 삽입 용량은 bpp(bit per pixel)로 측정하였다.

PSNR은 커버 이미지와 스테고 이미지를 입력으로 두 이미지의 차이를 측정하는 기법이다. 식 (28)을 이용해서 계산할 수 있다.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

$$MSE = \left\{ \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I_{(i,j)} - I'_{(i,j)})^2 \right\} \quad (28)$$

식 (28)에서  $MSE$ 는 커버 이미지와 스테고 이미지의 각 픽셀 차이의 평균이다. 그리고  $MAX_I$  은 해당 이미지에서 가장 큰 픽셀이다. 일반적으로 PSNR이 40dB

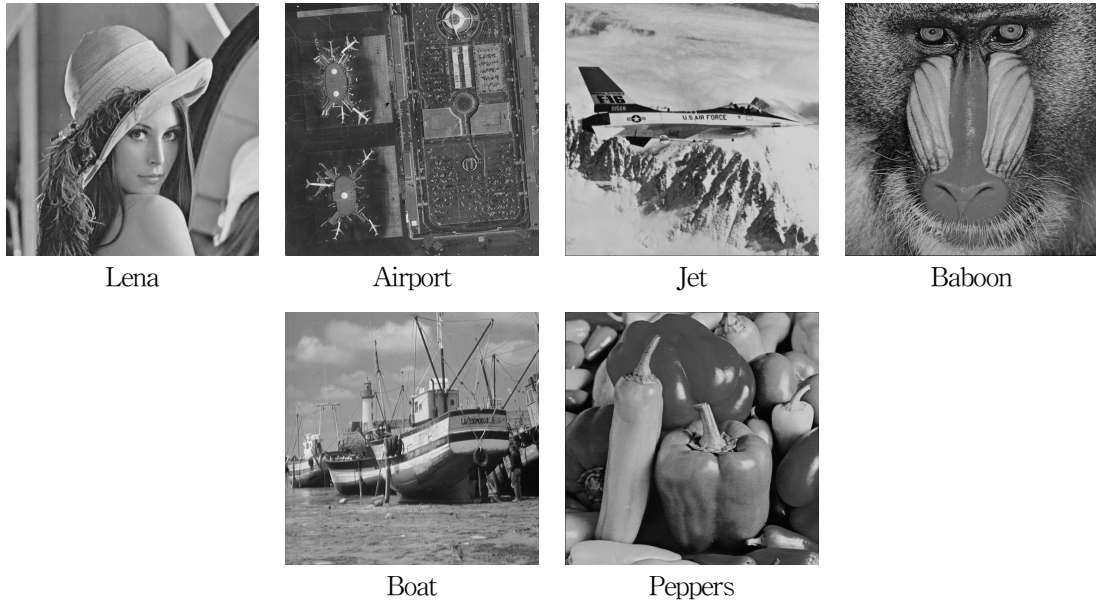


그림 5. 실험에 사용한 이미지  
Fig. 5. Images used in experiment.



그림 6. 크기가 2 일 때의 Lena에 대한 실험 결과  
Fig. 6. Experimental results of Lena when size=2.



이상이면 사람의 눈으로 이미지의 왜곡을 거의 구분할 수 없다. 따라서 스테고 이미지의 PSNR이 40dB 이상이면 비교적 안전하다고 할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 기법에서 스테고 이미지의 왜곡은 블록의 크기와 임계치에 의해서 결정된다. 또한 임계치에 의해서 삽입 용량 또한 변화한다.

표 1은 임계치가 0일 때, Baboon 이미지에서 블록의 크기에 따른 스테고 이미지의 왜곡에 대한 변화이다. 블록의 크기가 작을수록, 블록의 크기가 큰 것에 비하여 스테고 이미지의 왜곡이 적다. 블록 크기가 2일 경우, PSNR은 57.23 dB이다. 반대로 블록의 크기가 8 일 경우, PSNR은 49.32dB이다. Baboon 이미지에서는 블록의 크기에 따라서 최대 약 9dB 정도의 차이를 보인다. 그리고 블록의 크기가 작을수록, 블록의 크기가 스테고 이미지에 미치는 영향이 크지만, 블록의 크기가 클수록 스테고 이미지의 왜곡에 미치는 영향이 적어진다. 블록의 크기가 2 일 때와 3 일 때, 블록의 크기가 증가함으로써 스테고 이미지의 왜곡이 3 dB정도 발생했다는 것을 알 수 있다. 하지만 블록의 크기가 7 일 때와 8일 때, 블록의 크기가 변화해도 스테고 이미지의 왜곡이 비슷하다. 따라서 제안하는 기법에서 블록의 크기가 작을수록 스테고 이미지의 왜곡을 줄인다.

제안하는 기법에서 블록의 크기와 함께 임계치도 스테고 이미지의 왜곡 정도를 결정한다. 표 2는 블록 크기가 2 일 때, 다양한 임계치에서 Lena 에 대한 실험 결과이다. 임계치의 변화는 블록의 크기와 달리 삽입 용량도 같이 변화시킨다. 임계치가 작을 때, 삽입 용량은 0.120 bpp 로 비밀 데이터를 많이 숨길 수 없지만, PSNR이 53.25 dB로 스테고 이미지의 왜곡이 많지 않다. 하지만 임계치가 8일 경우, 삽입 용량이 0.879 bpp 로 비밀 데이터 많이 숨길 수 있지만, PSNR이 35.28로 스테고 이미지의 왜곡이 많이 발생한다. 따라서 스테고 이미지의 왜곡을 줄이긴 위해선 적은 양의 비밀 데이터를 숨겨야 한다. 만약 많은 양의 데이터를 숨기면, 그림 2에서와 같이 스테고 이미지에서 명암 대비가 커버 이미지보다 뚜렷해지는 왜곡이 발생한다.

이미지의 밝기의 변화량에 따라 제안하는 기법의 실험 결과는 변화한다. 표 3은 Jet 이미지에서 임계치가 0 일 때, 다양한 블록 크기에 대한 실험 결과이다. 블록 크기가 0일 때, PSNR은 49.26dB 이다. 이는 표 1의 Baboon에 대한 실험 결과와 비교했을 때, 동일한 블록 크기에 대한 실험에 비하여 상당히 많은 왜곡을 발생

표. 1. 임계치가 0 일 때, Baboon에 대한 실험  
Table 1. Experimental results of Baboon when threshold=0.

Block	Capacity	PSNR
2	0.041	57.23
3	0.040	54.07
4	0.041	52.31
5	0.040	51.08
6	0.040	50.25
7	0.041	49.74
8	0.041	49.32

표. 2 블록 크기가 2 일 때, Lena에 대한 실험 결과  
Table 2. Experimental results of Lena when block size=2.

Threshold	Capacity	PSNR
0	0.120	53.25
1	0.341	45.00
2	0.518	41.39
3	0.645	39.40
4	0.729	38.10
5	0.789	37.29
6	0.829	36.54
7	0.857	35.88
8	0.879	35.28

표. 3. 임계치가 0 일대, Jet에 대한 실험 결과  
Table 3. Experimental results of Jet when threshold=0.

Block	Capacity	PSNR
2	0.157	49.36
3	0.157	49.21
4	0.157	49.09
5	0.157	48.95
6	0.157	48.61
7	0.157	49.39
8	0.157	49.03
16	0.157	49.53
32	0.157	49.04

것이다. 하지만 삽입 용량의 경우, Jet는 0.157 bpp 로 Baboon의 0.041 bpp 에 비하여 세배 이상의 비밀 데이터를 숨길 수 있다. 보통 DE 기반의 가역정보은닉 기법은 밝기 변화량에 상관없이 이미지의 왜곡을 발생시키지만, 이미지의 왜곡이 많을수록 삽입 용량이 적었다. 하지만 제안하는 기법은 이미지의 변화량이 많아 삽입 용량이 적을 경우, 이미지의 왜곡을 적게 발생시킨다.

제안하는 기법에서 임계치가 커질수록 블록의 효과

는 작아진다. 즉 임계치가 클수록 블록의 크기가 작아도 스테고 이미지의 왜곡이 많이 줄어들지 않는다. 표 4는 Lena 에서 임계치와 블록 크기의 변화에 따른 스테고 이미지의 왜곡 정도를 나타낸다. 임계치가 0일 경우, 2의 블록 크기에서 PSNR은 53.25 dB 이고, 3의 블록 크기에서 PSNR은 49.63 dB 이다. 이 두 가지 블록 크기에서의 PSNR은 약 3.6 dB 정도의 차이를 보인다. 이에 반해, 임계치가 8일 경우, 2의 블록 크기에서 PSNR은 35.28 dB 이고, 3의 블록 크기에서 PSNR은 34.90 dB 이다. 이 두 가지 블록 크기에서의 PSNR은 약 0.4 dB 정도의 차이를 보인다. 살펴본 것처럼 임계치의 크기가 작을수록 블록 크기는 스테고 이미지의 왜곡은 많은 영향을 준다. 하지만 임계치가 크면, 블록의 크기가 스테고 이미지의 왜곡에 주는 영향은 작다.

기존의 DE 기반 가역정보은닉 기법들은 히스토그램 쉬프팅 기반 가역정보은닉 기법에 비해 스테고 이미지의 왜곡이 많다. 하지만 추가적인 정보는 히스토그램 쉬프팅 기반 가역정보은닉 기법이 DE 기반 가역정보은

표. 4. Lena에서 임계치와 블록 크기 변화에 따른 PSNR

Table 4. PSNR based on the variation of threshold and block size in Lena.

Thres hold	Block Size				
	2	4	8	16	32
0	53.25	49.63	48.51	48.43	48.43
1	45.00	43.48	43.18	43.17	43.17
2	41.39	40.48	40.28	40.28	40.22
3	39.40	38.67	38.68	38.71	38.76
4	38.10	37.44	37.53	37.28	37.47
5	37.29	36.58	36.55	36.55	36.55
6	36.54	35.94	35.86	35.81	35.81
7	35.88	35.20	35.15	35.17	35.20
8	35.28	34.90	34.84	34.89	34.95

닉 기법에 비해 많은 생성한다. 표 5에서 제안하는 기법은 블록 크기가 2이고 임계치가 0일 때의 결과이다. 그리고 Tsai 등의 기법은 블록 크기가 2일 때의 결과이다. 마지막으로 Lee 등의 기법은 임계치가 0 일 때의 결과이다. 각 이미지에 대한 각 실험들의 평균에서 삽입 용량은 Tsai 등의 기법이 0.419 bpp로 가장 좋고, 제안하는 기법과 Lee 등의 기법이 0.068 bpp로 동일하다. 하지만 Lee 등의 기법이 48.32 dB로 스테고 이미지의 왜곡이 가장 많이 발생하였고, 제안하는 기법이 55.54 dB로 가장 적은 왜곡이 발생하였다. 따라서 위에서 언급한 블록 크기와 임계치에서 제안하는 기법은 스테고 이미지의 왜곡이 가장 적다. 제안하는 기법은 임계치가 0이고 블록 크기가 2 일 때, 히스토그램 쉬프팅 기반의 가역정보은닉 기법보다 스테고 이미지의 왜곡을 적게 발생시켰다.

제안하는 기법은 언더플로우와 오버플로우 문제를 해결하기 위해서 로케이션 맵을 사용하였다. 또한 추출 및 복원 과정에서 각 블록에 비밀 데이터의 삽입으로 픽셀이 변경되었는지를 판단하기 위해 블록에 대한 로케이션 맵을 사용하였다. 이러한 추가 데이터는 일반적으로 안전하게 수신자에 전송되어야 한다. 제안하는 기법에서 블록 크기가 2이고, 임계치가 0일 경우 비밀 데이터를 삽입하지 않는 블록은 상당히 많이 생긴다. 블록 크기가 2일 경우, 로케이션 맵을 표현하기 위해서는 image size/2 비트가 필요하다. 또 언더플로우와 오버플로우에 대한 로케이션 맵은 이미지 크기만큼의 비트가 필요하다. 보통 이러한 추가 데이터는 무손실 압축을 이용하여 크기를 줄인 후 전송을 한다. 하지만 언더플로우와 오버플로우의 빈도가 많은 경우 무손실 압축 효율이 상당히 떨어지기 때문에 이를 표현하기 위해 많은 비트를 요구한다. 따라서 언급된 두 문제는 앞으로 해결해야할 과제로 남는다.

표 5. Tsai 등과 Lee 등이 제안한 기법과 제안하는 논문의 비교

Table 5. Comparison results of the proposed method with Tsai et al. and Lee et al.

Image	Proposed scheme		Lee et al.'s scheme		Tsai et al.'s scheme	
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR
Ariport	0.041	56.85	0.041	48.33	0.416	54.67
Baboon	0.041	57.23	0.041	48.33	0.397	55.03
Boat	0.065	55.23	0.065	48.44	0.065	48.44
Lena	0.120	53.25	0.120	48.15	0.434	54.30
Man	0.069	55.96	0.069	48.54	0.428	51.78
Peppers	0.075	54.75	0.075	48.15	0.424	54.51
Average	0.068	55.54	0.068	48.32	0.361	53.12

## VI. 결 론

본 논문에서는 DE 기법을 기반으로 하여 이미지를 블록으로 나누어 각 블록의 예측 오차들의 크기를 이용하여 비밀 데이터의 삽입 여부를 결정하는 가역정보은닉 기법을 제안하였다. 제안하는 가역정보은닉 기법은 비밀 데이터가 삽입될 영역에서만 커버 이미지를 변경하고, 다른 부분은 변경하지 않음으로써, 스테고 이미지의 왜곡을 줄였다. 기존의 DE 기반 가역정보은닉 기법들은 임계치가 0일 경우에도 PSNR이 50 dB 보다 작다. 하지만 제안하는 기법은 임계치가 0이고 블록 크기가  $2 \times 2$ 일 경우, Baboon에 대한 스테고 이미지에서 최고 57 dB 정도로 왜곡이 적게 발생한다.

하지만 블록을 나누고 픽셀을 변경 유무에 대한 정보를 나타낼 로케이션 맵과 언더플로우와 오버플로우를 방지하기 위한 로케이션 맵을 사용으로 추가 데이터가 발생한다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, P. Mc Kevitt, "Digital image steganography: Survey and analysis of current methods," *Signal Processing* 90, pp.727-752, 2010.
- [2] C.W. Honsinger, P. Jones, M. Rabbani, J.C. Stoffel, "Lossless recovery of an original image containing embedded data", *US Patent application*, Docket No: 77102/E-D, 2001.
- [3] J. Tian, "Reversible watermarking by difference expansion", *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 13, Issue. 8, pp.890-896, 2003.
- [4] Z. Ni, Y. Q. Shi, N. Ansari, W. Su, "Reversible data hiding," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 16, Num. 3, pp.354-362, 2006.
- [5] D. M. Thodi, J J Rodriguez. "Expansion embedding techniques for reversible watermarking," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 19 (6), pp. 906-910, 2007
- [6] P. Tsai, Y ChenHub, H. LienYeh, "Reversible image hiding scheme using predictive coding and histogram shifting," *Signal Processing* 89, pp.1129-1143, 2009.
- [7] C. F. Lee, H. L. Chen, H. K. Tso, "Embedding capacity raising in reversible data hiding based on prediction of difference expansion," *The Journal of Systems and Software* 83, pp.1864-1872, 2010.
- [8] Y. Hu, H. K. Lee, and J. Li, "DE-Based reversible data hiding with improved overflow location map," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 19, No. 2, pp.250-260, 2009.
- [9] H. C. Wu, C. C. Lee, C. S Tsai, Y. P. Chu, H. R. Chen "A high capacity reversible data hiding scheme with edge prediction and difference expansion," *The Journal of Systems and Software* 82, pp.1966-1973, 2009.
- [10] A. M. Alattar, "Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform," *IEEE Transactions on image processing*, Vol. 13, No. 8, pp.1147-1156, 2004.
- [11] H. W. Tseng , C. P. Hsieh, "Prediction-based reversible data hiding," *Information Sciences* 179, pp.2460-2469, 2009.
- [12] W. Hong, T. S. Chen, C. W. Shiu, "Reversible data hiding for high quality images using modification of prediction errors," *The journal of Systems and Software* 82, pp.1833-1842, 2009.
- [13] X. Zenga, "Lossless Data Hiding Scheme Using Adjacent Pixel Difference Based on Scan Path," *Journal of Multimedia*, Vol. 4, No. 3, pp.145-152, 2009.
- [14] K. S. Kim, M. J. Lee, H. Y. Lee, H. K. Lee, "Reversible data hiding exploiting spatial correlation between sub-sampled images," *Pattern Recognition* 42, pp.3083-3096, 2009.
- [15] M. Chen, Z. Chen, X. Zeng, Z. Xiong, "Reversible Data Hiding Using Additive Prediction-Error Expansion," *ACM Multimedia Security'09*, pp.19-24, 2009.
- [16] Lossless and near-lossless coding of continuous tone still images(JPEG-LS), ISO/IEC JTC1/SC29 WG1 FCD 14495, International Standards Organizations/ International Electrotechnical Commission, 1997 [Online]. Available: <http://www.jpeg.org/public/fcd14495p.pdf>.
- [17] S. K. Yip, O. C. Au, H. M. Wong, C. W. Ho, "Generalized lossless data hiding by multiple predictors," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp.21-24, 2006.

저 자 소 개



**최 장 희**(정회원)  
 1996년 대전 한남대학교 멀티미디어공학 학사 졸업.  
 2012년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 석사 졸업.  
 <주관심분야 : 암호학, 정보보호, 스테가노그래피>



**윤 은 준**(정회원)  
 1995년 경일대학교 졸업 (공학사)  
 2003년 경일대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 2007년 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

2007년~2008년 대구산업정보대학 컴퓨터정보계열 전임강사  
 2009년~2011년 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 계약교수  
 2011년~현재 경일대학교 사이버보안학과 교수  
 <주관심분야 : 암호학, 정보보호, 유비쿼터스보안, 네트워크보안, 데이터베이스보안, 스테가노그래피, 인증프로토콜>



**유 기 영**(정회원)-교신저자  
 1976년 경북대학교 수학과 (이학사)  
 1978년 한국 과학 기술원 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 1992년 미국 뉴욕 Rensselaer Polytechnic Institute 컴퓨터 과학과 (이학박사)

1978년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 교수  
 1997년~1998년 한국정보과학회 영남지부장  
 1999년~현재 한국정보과학회 영남지부장  
 1999년~현재 한국 정보과학회 이사  
 2006년~현재 제12대 한국 정보보호학회 부회장  
 <주관심분야: 암호학, 정보보호, 유비쿼터스보안, 네트워크보안, 데이터베이스보안, 스테가노그래피, 인증프로토콜>