

# 지역적 유사성을 이용한 픽셀 값 예측 기법에 기초한 가역 데이터 은닉 알고리즘

정 수 목\*

## Reversible Data Embedding Algorithm based on Pixel Value Prediction Scheme using Local Similarity in Image

Soo-Mok Jung\*

**요 약** 본 논문에서는 기밀 데이터를 커버 이미지에 은닉하는 효과적인 가역 데이터 은닉 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 이미지에 존재하는 지역적 유사성을 이용하여 픽셀 값을 정확하게 예측하여 예측 이미지를 생성하였고, 생성된 예측 이미지와 원본 커버 이미지를 사용하여 차분 시퀀스를 생성한 후, 히스토그램 쉬프트 기법을 적용하여 기밀데이터가 은닉된 스테고 이미지(stego-image)를 생성하였다. 스테고 이미지로부터 기밀 데이터를 추출하고 원본 커버 이미지를 손실 없이 복원할 수 있다. 제안된 기법을 적용하면 기존의 APD 기법에 비하여 더 많은 기밀 데이터를 은닉할 수 있음을 실험으로 확인하였다.

**Abstract** In this paper, an effective reversible data embedding algorithm was proposed to embed secrete data into image. In the proposed algorithm, prediction image is generated by accurately predicting pixel values using local similarity existing in image, difference sequence is generated using the generated prediction image and original cover image, and then histogram shift technique is applied to create a stego-image with secrete data hidden. Applying the proposed algorithm, secrete data can be extracted from the stego-image and the original cover image can be restored without loss. Experimental results show that it is possible to embed more secrete data into cover image than APD algorithm by applying the proposed algorithm.

**Key Words** : APD, Cover image, Histogram shift, Reversible data embedding, Stego-image

### 1. 서론

데이터 은닉 기법(data hiding)은 사람이 인지할 수 없도록 기밀 데이터(secrete data)를 이미지, 동영상, 사운드 등 미디어에 은닉하는 기법이다. 이미지에 기밀 데이터를 삽입하는 경우, 선택된 이미지인 커버 이미지(cover image)에 기밀 데이터를 은닉하여 스테고 이미지(stego-image)를 생성하고, 스테고 이미지로부터 원본 기밀 데이터를 추출하게 된다.

데이터 은닉 기법에서는 은닉된 기밀 데이터를 인지할

수 없어야 하는 비인지성 요구 조건(imperceptibility requirement)을 만족시켜야 한다.[1][2] 비인지성 요구 조건을 만족시키기 위해서는 커버 이미지에 기밀 데이터가 은닉되어 생성된 스테고 이미지의 화질이 우수하게 유지되도록 하여 시각적으로 스테고 이미지와 커버 이미지를 구분 할 수 없어야 한다.

비인지성 요구 조건을 만족시킬 수 있도록 스테고 이미지의 화질을 높이는 대부분의 데이터 은닉 기법들은 스테고 이미지로부터 기밀 데이터를 추출할 때 복원되는 커버 이미지가 원본 커버 이미지와 차이가 있

This research was supported by Sahmyook University Research Fund in 2016.

\*Corresponding Author : Division of Computer Science & Engineering, Sahmyook University (jungsm@syu.ac.kr)

Received December 12, 2017

Revised December 15, 2017

Accepted December 15, 2017

기 때문에 비가역적인 데이터 은닉 기법들이다.[3]

스테고 이미지로부터 기밀 데이터가 온전히 추출될 뿐만 아니라 원본 커버 이미지가 완벽하게 복원될 수 있는 가역적인 데이터 은닉 기법(reversible data embedding)은 의학, 군사, 디지털 라이브러리(digital library) 등의 응용에서 매우 중요하다.[4] 최근에 다양한 가역적인 데이터 은닉 기법들이 제안되어 왔다.[2]-[11] 가역적 데이터 은닉 기법인 NSAS 기법은[2] 커버 이미지에 대한 히스토그램의 좌측과 우측에서 peak point와 zero point 쌍(pair)을 조사하여 (peak point, zero point) 사이에 있는 픽셀들을 쉬프트(shift) 시킨 후, peak point에 해당하는 픽셀들에 데이터를 삽입한다. 따라서 삽입되는 최대 비트 수는 히스토그램의 좌·우측 peak point에서의 빈도수의 합으로 제한되는 한계가 있다.

NSAS 기법을 개선한 APD(Adjacent Pixel Difference) 기법[3]에서는 커버 이미지에 삽입되는 데이터 비트수를 증가시키기 위하여 커버 이미지의 인접 픽셀 간의 픽셀 값 차(difference)로 구성되는 차분 시퀀스(difference sequence)를 생성하고, 차분 시퀀스에 대한 히스토그램을 구한 후, NSAS 기법과 동일한 방법으로 히스토그램 이동 기법을 사용하여 기밀 데이터를 커버 이미지에 은닉한다. 이미지에서 인접한 픽셀 값들 사이에는 일반적으로 유사성(similarity)이 존재하기 때문에 인접한 픽셀 값들은 서로 비슷하다. 따라서 인접 픽셀 값 간의 차로 구성되는 차분 시퀀스의 각 요소는 0(zero)과 그 주위의 매우 작은 값들을 갖게 된다. 그러므로 차분 시퀀스에 대한 히스토그램의 피크 포인터에서의 빈도수가 증가하게 되어 은닉할 수 있는 기밀 데이터 비트수가 증가하게 된다. APD 기법에서는 커버 이미지에 은닉되는 기밀 데이터 비트수가 인접 픽셀 값 차로 구성되는 차분 시퀀스에 대한 히스토그램에서 좌·우측의 peak point에서의 빈도수의 합으로 제한되는 단점이 있다.

본 논문에서는 APD 기법의 데이터 은닉 비트수를 증가시킬 수 있도록 기존의 기법[11]을 개선하여 APD 기법에 적용하는 효과적인 가역 데이터 은닉

기법을 제안하였다. 자연 영상에 존재하는 지역적 유사성(local similarity)을 이용하여 예측 영상을 생성한 후, APD 기법을 변형하여 커버 이미지와 예측 이미지로부터 차분시퀀스를 생성하고, 차분 시퀀스의 히스토그램을 쉬프트 하여 기밀 데이터를 임베딩 하는 제안된 기법은 효과적인 가역 데이터 은닉 기법이다. 제안된 기법에서는 스테고 이미지로부터 기밀 데이터를 온전히 추출할 수 있고 원본 커버 이미지를 완벽하게 복원할 수 있다.

픽셀 값 예측이 정확할수록 차분 시퀀스의 히스토그램에서 피크 포인터에서의 빈도수가 증가하게 되어 커버 이미지에 은닉되는 데이터 비트수가 APD 기법에 비하여 많이 증가 하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에 APD 기법을 기술하였고, 3장에 제안된 가역 데이터 은닉 기법을 기술하였다. 4장에 실험 결과를 기술하였고, 5장에 결론을 기술하였다.

## 2. APD(Adjacent Pixel Difference)

APD 기법에서는 인접한 픽셀 값들의 유사성을 최대로 활용하기 위하여 커버 이미지의 픽셀 값들을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 역 s-순(inverse s-order)으로 스캔(scan)하여 커버 이미지 시퀀스(Cover image sequence) C를 생성한다. 식 (1)을 사용하여 커버 이미지 시퀀스 C로부터 차분 시퀀스(Difference sequence) D를 생성한다. 영상에는 지역적 유사성(local similarity)이 존재하기 때문에 인접한 픽셀 값들은 비슷한 값들을 갖는다. 따라서 식 (1)에 의해 계산되는 차분 시퀀스 D의 요소인  $D_i$ 는 0(zero) 혹은 0(zero)에 가까운 값들을 갖게 된다. 차분 시퀀스의 이러한 특성 때문에 차분 시퀀스 D의 히스토그램은 0과 0주위의 값들에서의 빈도수가 크게 증가하게 된다. 식 (1)에서 n은 차분 시퀀스의 길이이고, (image height)\*(image width)의 값을 갖는다.

$$D_i = \begin{cases} C_i & \text{if } i=0 \\ C_{i-1} - C_i & \text{if } 1 \leq i \leq n-1 \end{cases} \quad (1)$$

512x512 gray scale 영상인 Lenna영상으로부터 생성된 차분 시퀀스의 히스토그램이 그림 1에 나타나 있다. 히스토그램에서 빈도수가 최대(25,010)와 두 번째(23,414)인 픽셀 값을 PP<sub>1</sub>(peak point 1), PP<sub>2</sub>로 둔다. PP<sub>1</sub>에 가장 가까이 있는 빈도수가 0인 픽셀 값을 CZP<sub>1</sub>(closest zero point 1), PP<sub>2</sub>에 가장 가까이 위치한 빈도수가 0인 픽셀 값을 CZP<sub>2</sub>로 표시하면 그림 1에서 보는 바와 같이 PP<sub>1</sub>=0, CZP<sub>1</sub>=-103, PP<sub>2</sub>=1, CZP<sub>2</sub>=116 이 된다.

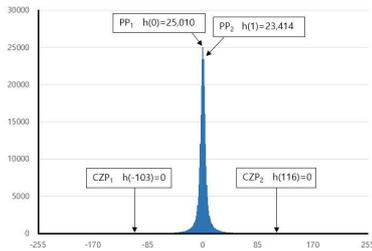


그림 1. 512x512 Lenna 영상에 대한 차분 시퀀스 D의 히스토그램

Fig. 1. Histogram of difference sequence D for 512x512 Lenna image

APD 기법에서는 차분 시퀀스 D의 히스토그램을 쉬프트 시켜서 데이터를 임베딩하기 때문에 임베딩 되는 최대 비트수는 peak point에서의 빈도수의 합인  $h(PP_1)+h(PP_2)=48,424$ 비트가 된다. NSAS 기법에서는 커버 이미지에 대한 히스토그램을 생성하기 때문에  $PP_1=153$ ,  $PP_2=154$ ,  $h(PP_1)=2,859$ ,  $h(PP_2)=2,842$ 가 되고,  $h(PP_1)+h(PP_2)=5,701$ 비트(bit)가 되어 최대 은닉 가능한 기밀 데이터의 비트수는 5,701비트가 된다. 따라서 APD기법에서는 은닉 데이터 비트수가 NSAS 기법에 비하여 42,723비트 증가하게 된다.

APD 기법에서 기밀 데이터 은닉 과정은 그림 2와 같이 7단계로 구성된다.

은닉단계 1. 인접한 픽셀 값들의 유사성을 최대한으로 활용하기 위하여 커버 이미지의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래로 역 s-순(inverse s-order)으로 스캔하여 픽셀 값들로 구성되는 커버 이미지 시퀀스 C를 생성한다.

은닉단계 2. 식 (1)을 사용하여 커버 이미지 시퀀스 C로부터 차분 시퀀스 D를 생성한다.

은닉단계 3. 차분 시퀀스 D에 대한 히스토그램을 생성한 후, PP<sub>1</sub>,CZP<sub>1</sub>,PP<sub>2</sub>,CZP<sub>2</sub>를 결정한다.

은닉단계 4. 식 (2), (3)과 같이 차분 시퀀스 D를 쉬프트 시켜, 쉬프트 된 차분 시퀀스 DS를 생성한다.

$$DS_i = \begin{cases} D_i & \text{if } i = 0 \text{ or } D_i \notin [PP_j + sd_j, CZP_j] \\ D_i + sd_j & \text{if } D_i \in [PP_j + sd_j, CZP_j] \end{cases} \quad (2)$$

$$sd_j = \begin{cases} 1 & \text{if } PP_j < CZP_j \\ -1 & \text{if } CZP_j < PP_j \end{cases} \quad \text{where } j \in \{1, 2\} \quad (3)$$

은닉단계 5. 식 (4)와 같이 쉬프트 된 차분 시퀀스 DS에 기밀 데이터를 삽입하여 임베딩 시퀀스 DE를 생성한다.

$$DE_i = \begin{cases} DS_i & \text{if } i = 0 \text{ or } F'_i \neq PP_j \text{ or } \text{data} = 0 \\ DS_i + sd_j & \text{if } F'_i = PP_j \text{ and } \text{data} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

은닉단계 6. 커버 이미지 시퀀스 C와 임베딩 시퀀스 DE에 식 (5)를 적용하여 스테고 이미지 시퀀스 S를 생성한다.

$$S_i = \begin{cases} DE_i & \text{if } i = 0 \\ C_{i-1} - DE_i & \text{if } 1 \leq i \leq n-1 \end{cases} \quad (5)$$

where  $n=(\text{image height}) \times (\text{image width})$

은닉단계 7. 스테고 이미지 시퀀스 S를 순차적으로 스캔하여 역 s-순으로 스테고 이미지를 구성한다.

그림 2. APD 기법의 기밀 데이터 임베딩 과정  
Fig. 2. Secrete data embedding process of APD

커버 이미지에 기밀 데이터를 삽입하여 생성된 스테고 이미지로부터 기밀 데이터를 추출하고 원본 커버 이미지를 복원하는 절차는 그림 3과 같다.

**복원단계 1.** 스테고 이미지의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 역 s-순 (inverse s-order)으로 스캔하여 스테고 이미지 시퀀스 S를 생성한다.

**복원단계 2.** i 값을 증가 시키면서 복원단계 2.1과 복원단계 2.2를 차례대로 반복적으로 수행하여 커버 이미지 시퀀스 C와 임베딩 시퀀스 DE를 복원한다.

**복원단계 2.1.** 식 (6)에 따라 임베딩 시퀀스 DE를 복원한다.

$$DE_i = \begin{cases} C_i & \text{if } i = 0 \\ C_{i-1} - S_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

**복원단계 2.2.** 식 (7)을 만족하는 커버 이미지 시퀀스 C를 복원한다.

$$C_i = \begin{cases} S_i & \text{if } i = 0 \\ S_i + sd_j & \text{else if } 1 \leq i \leq n-1 \text{ and } C_{i-1} - S_i \in [PP_j + sd_j, CZP_j] \\ S_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

**복원단계 3.** 식 (8)을 임베딩 시퀀스의 각 요소 DE<sub>i</sub>에 적용하여 스테고 이미지에 삽입되어 있는 기밀 데이터를 추출한다.

$$\text{Extraction bit} = \begin{cases} 0 & \text{if } DE_i = PP_j \\ 1 & \text{else if } DE_i = PP_j + sd_j \end{cases} \quad (8)$$

**복원단계 4.** 복원된 커버 이미지 시퀀스 C를 스캔한 후, 역 s-순으로 원본 커버 이미지를 생성한다.

그림 3. APD 기법에서 기밀 데이터 추출 과정  
Fig. 3. Secrete data extraction process of APD

APD 기법으로 커버 이미지에 기밀 데이터를 은

닉하여 생성된 스테고 이미지의 화질이 뛰어나기 때문에 시각적으로 원본 커버 이미지와 스테고 이미지를 구분하기 어렵다. 스테고 이미지로부터 기밀 데이터가 온전히 추출되고, 원본 커버 이미지가 완벽하게 복원되기 때문에 APD 기법은 의료, 국방, 디지털 라이브러리 등의 응용에 사용될 수 있는 우수한 가역적 데이터 은닉 기법이다.

### 3. 제안 기법

APD 기법의 데이터 은닉 비트 수를 증가시키기 위한 제안 기법에서는 픽셀 값 예측 기법을 사용하여 예측 이미지를 생성하고, 예측 이미지와 원본 커버 이미지를 사용하여 차분 시퀀스를 생성하고, 생성된 차분 시퀀스에 대하여 APD 기법의 기밀 데이터 은닉 절차를 따라 기밀 데이터를 은닉하여 스테고 이미지를 생성한다. 제안된 기법에서는 예측 이미지를 생성하기 위하여 기존의 기법[11]을 개선한 효과적인 픽셀 값 예측 기법을 사용하였다.

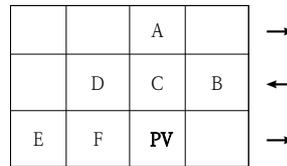


그림 4. 제안된 기법에서 픽셀 값 예측을 위하여 사용되는 인접한 픽셀들  
Fig 4. The neighboring pixels used for pixel value prediction in the proposed algorithm

그림 4에서 화살표는 커버 이미지를 역-s 순 (inverse s-order)으로 스캔하는 방향을 나타내며, 이는 인접한 픽셀들의 값이 유사한 성질을 최대한 활용하기 위해 APD 기법에서 사용된 방법이다. 좌표 (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)인 위치에서의 예측 픽셀 값 PV는 다음과 같은 5단계를 따라 구해진다.

**예측단계 1.** 좌표 (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) 근방에 있는 픽셀들 중에서 기 스캔된 6개의 픽셀을 선택한 후, 식 (9)를 사용하여 V<sub>1</sub> 값을 구한다. 좌표 (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)에 인접한 픽셀들이 V<sub>1</sub>에 미치는 영향을 나타내는 계수를 1로 하였고, 한 픽셀 떨어져 있는 위치의 픽셀들이 V<sub>1</sub>에

미치는 영향을 나타내는 계수를  $\alpha$ 로 나타내었다.

$$V_1(x_i, y_j) = \{ [P(x_i, y_{j-2}) + P(x_{i-2}, y_j)] * \alpha + P(x_{i+1}, y_{j-1}) + P(x_i, y_{j-1}) + P(x_{i-1}, y_{j-1}) + P(x_{i-1}, y_j) \} / (4 + 2 * \alpha) \quad (9)$$

**예측단계 2.** 지역적인 유사성의 정도를 판별하기 위하여, 식 (10)과 같이  $V_1$ 과 주변 픽셀 값들 간의 편차(dev)를 구한다.

$$\begin{aligned} dev(x_i, y_j) = & \{ abs(V_1 - P(x_i, y_{j-2})) + abs(V_1 - P(x_{i-2}, y_j)) \} * \\ & \alpha + abs(V_1 - P(x_{i+1}, y_{j-1})) + \\ & abs(V_1 - P(x_i, y_{j-1})) + abs(V_1 - P(x_{i-1}, y_{j-1})) + \\ & abs(V_1 - P(x_{i-1}, y_j)) \end{aligned} \quad (10)$$

**예측단계 3.** 식 (10)을 사용하여 구한 편차 dev가 정해진 임계 값( $\beta$ ) 이상이면 지역적인 유사성이 매우 낮은 것으로 판단하여 픽셀 값 예측을 수행하지 않고 커버 이미지에 있는 해당 위치의 픽셀 값을 예측 이미지의 픽셀 값으로 사용한다. 만약, 식 (10)을 사용하여 구한 편차 dev가 임계 값( $\beta$ ) 미만이면 지역적인 유사성이 높은 것으로 판단하여 해당 위치에서의 표면 특성을 추정하는 예측 단계 4로 넘어간다.

**예측단계 4.** 표면 특성 추정 단계는 다음과 같다. 임의의 두 지점  $(x_1, y_1)$ 과  $(x_2, y_2)$ 를 지나는 직선의 방정식은 식 (11)과 같이 주어진다. 식 (11)을 이용하여 인접한 픽셀 사이의 직선 방정식을 구한다. 픽셀 값이 C인 픽셀과 x축으로 인접한 픽셀 값이 B인 픽셀 사이에서 픽셀 값에 대하여 x축 방향만을 고려한 직선 방정식,  $(x_i, C)$ 와  $(x_{i+1}, B)$ 를 지나는 직선 방정식  $P_R(x)$ 를 구하면 식 (12)와 같이 된다. 동일한 방법으로 픽셀 값이 D인 픽셀과 픽셀 값 C인 픽셀 사이의 직선방정식  $P_L(x)$ 는 식 (13)과 같이 된다. 픽셀 값이 F인 픽셀과 픽셀 값이 C인 픽셀 사이에서 x축 방향만을 고려한 직선 방정식  $P_{LD}(x)$ 는  $(x_{i-1}, F)$ 와  $(x_i, C)$ 를 지나는 식 (14)와 같이 된다. 동일하게 픽셀 값 D인 픽셀과 픽셀 값 A인 픽셀사이에서 x축 방향만을 고려한 직선방정식  $P_{UL}(x)$ 은 식 (15)와 같이 되고, 픽셀 값 E와 픽셀 값 D인 픽셀사이의 x축

방향만을 고려한 직선방정식  $P_{LL}(x)$ 은 식 (16)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} y &= \{ (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) \} (x - x_1) + y_1 \quad (11) \\ P_R(x) &= \{ (B - C) / (x_{i+1} - x_i) \} (x - x_i) + C \quad (12) \\ P_L(x) &= \{ (C - D) / (x_i - x_{i-1}) \} (x - x_{i-1}) + D \quad (13) \\ P_{LD}(x) &= \{ (C - F) / (x_i - x_{i-1}) \} (x - x_{i-1}) + F \quad (14) \\ P_{UL}(x) &= \{ (A - D) / (x_i - x_{i-1}) \} (x - x_{i-1}) + D \quad (15) \\ P_{LL}(x) &= \{ (D - E) / (x_{i-1} - x_{i-2}) \} (x - x_{i-2}) + E \quad (16) \end{aligned}$$

식 (12)-(16)의 기울기가 모두 0보다 크면, 좌표  $(x_i, y_j)$ 의 오른쪽 픽셀 값들이 왼쪽 픽셀 값들보다 큰 값을 갖는 단순 경사면(simple inclined surface)이라고 추정한다. 식 (12)-(16)의 기울기가 모두 0보다 적은 경우에는 좌표  $(x_i, y_j)$ 의 왼쪽 픽셀 값들이 오른쪽 픽셀 값들보다 더 큰 값을 갖는 단순 경사면이라고 추정한다. 만약 식 (12)-(16)의 기울기가 모두 0인 경우에는 좌표  $(x_i, y_j)$ 의 왼쪽과 오른쪽이 평평한 평면(flat surface)이라고 추정한다.

**예측단계 5.** 좌표  $(x_i, y_j)$ 에서 x축 방향의 표면 특성이 단순 경사면이거나 혹은 평면인 경우에는 식 (17)을 사용하여 구한  $V_2(x_i, y_j)$ 를 예측 픽셀 값으로 한다. 좌표  $(x_i, y_j)$ 에서 x축 방향의 표면 특성이 단순 경사면도 아니고 평면도 아닌 경우에는 식 (9)에서 구해진  $V_1(x_i, y_j)$ 을 예측 픽셀 값으로 한다.

$$V_2(x_i, y_j) = [(B + C + D + F) / 4] * \gamma + [(A + E) / 2] * (1 - \gamma) \quad (17)$$

따라서 제안된 기법에서 구해지는 예측 픽셀 값은 식 (18)에 의해서 결정된다. 식 (18)에서  $C(x_i, y_j)$ 는 좌표  $(x_i, y_j)$ 에서의 커버 이미지의 픽셀 값을 나타낸다.

$$V(x_i, y_j) = \begin{cases} C(x_i, y_j) & \text{if } dev \geq \beta \\ V_2(x_i, y_j) & \text{if } dev < \beta \text{ and} \\ & \text{(경사면 or 평면)} \\ V_1(x_i, y_j) & \text{if } dev < \beta \text{ and} \\ & \text{the other surface} \end{cases} \quad (18)$$

제안된 픽셀 값 예측 기법은 기 스캔된 주변의 6개의 픽셀 값들을 이용하여 지역적 유사성이 높을 것으로 추정되는 위치를 찾은 후, 표면 특성을 조사하여 픽셀 값을 정밀하게 예측하기 때문에 예측된 픽셀 값은 커버 이미지의 실제 픽셀 값에 근접하게 되어 픽셀 값 차로 구성되는 차분 시퀀스에 대한 히스토그램의 peak point에서의 빈도수가 크게 증가하게 된다. 따라서 커버 이미지에 삽입되는 기밀 데이터 비트수를 크게 증가시킬 수 있다.

제안된 기법에서의 데이터 은닉 과정은 그림 5와 같이 8개의 단계로 구성된다.

은닉단계 1. 예측 이미지의 상위 2개 행과 좌·우측 각 2개 열의 픽셀 값은 커버 이미지의 픽셀 값을 그대로 사용하고, 예측 이미지의 나머지 영역(픽셀 값 예측 가능 영역)에서의 예측 픽셀 값은 예측 단계 1-예측 단계 5의 과정을 따라 구한다

은닉단계 2. 커버 이미지와 예측 이미지(prediction image)의 픽셀 값을 각각 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 역 s-순으로 스캔하여 커버 이미지 시퀀스 C와 예측 이미지 시퀀스 P를 생성한다.

은닉단계 3. 식 (19)를 커버 이미지 시퀀스 C와 예측 이미지 시퀀스 P에 적용하여 차분 시퀀스 D를 생성한다.

$$D_i = \begin{cases} C_i & \text{if } i = 0 \\ C_i - P_i & \text{else if 예측 픽셀 값 사용} \\ C_{i-1} - C_i & \text{otherwise (예측 픽셀 값 미사용)} \end{cases} \quad (19)$$

은닉 단계 4. 차분 시퀀스 D에 대한 히스토그램을 생성하여 PP<sub>1</sub>, CZP<sub>1</sub>, PP<sub>2</sub>, CZP<sub>2</sub>를 결정한다.

은닉단계 5. APD 기법과 동일하게 식 (2), (3)을 사용하여 차분 시퀀스 D를 쉬프트 시켜서 쉬프트 된 차분 시퀀스 DS를 생성한다.

은닉단계 6. 식 (4)와 같이 차분 시퀀스 DS

에 기밀 데이터를 삽입하여 임베딩 시퀀스 DE를 생성한다.

은닉단계 7. 커버 이미지 시퀀스 C와 임베딩 시퀀스 DE에 대하여 식 (5)를 적용하여 스테고 이미지 시퀀스 S를 생성한다.

은닉단계 8. 스테고 이미지 시퀀스 S를 순차적으로 스캔하여 역 s-순으로 스테고 이미지를 생성한다.

그림 5. 제안된 기법에서의 데이터 은닉 과정

Fig. 5. Data embedding process of the proposed algorithm

제안된 기법에서의 기밀 데이터 추출 및 원본 커버 이미지 복원 과정은 그림 6과 같이 4개의 단계로 구성된다.

복원단계 1. 스테고 이미지의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 역 s-순으로 스캔하여 픽셀 값들로 구성되는 스테고 이미지 시퀀스 S를 생성한다.

복원단계 2. C<sub>0</sub>=S<sub>0</sub>, DE<sub>0</sub>=C<sub>0</sub>로 둔다. i 값을 증가 시키면서, 픽셀 값 예측 가능 영역인지 판단한다. 픽셀 값 예측 가능 영역인 경우에는 예측 단계 1-예측 단계 5를 수행하여, 해당 위치에서의 픽셀 값으로 커버 이미지의 픽셀 값이 사용되었는지 혹은 예측 픽셀 값이 사용되었는지를 판단하여 추출 모드를 결정한다.

모드 1. 은닉 이미지의 상위 2개 행에 해당하는 경우(i<imagewidth\*2) 혹은 은닉 이미지 시퀀스의 이전 위치와 현재 위치 모두에서 예측 픽셀 값이 사용되지 아니한 경우. Mode 2와 Mode 3를 제외한 전 영역. 모드 1에서는 그림 3의 APD 기법과 같이 식 (6)과 식 (7)을 사용하여 임베딩 시퀀스 DE와 커버 이미지 시퀀스 C를 복원한다.

모드 2. 현재 위치에서 예측 값이 사용된 경우. 식 (6)을 사용하여 임베딩 시퀀스 DE를 복원하고, 식 (20)-(21)을 사용하여 커버 이미지 시퀀스 C를 복원한다. RP<sub>i</sub>는 복원과정 중, 추

출 모드 판단 결과가 모드 2인 경우  $i$ 번째 위치에서 계산되는 복원 예측 픽셀 값이다. 식 (20)에 사용된 연관 값 AV(Associated Value)는 복원 과정 중, 추출 모드 판단 결과가 모드 2 혹은 모드 3인 경우에 식 (21) 과 같이 계산되는 값이다.

$$C_i = RP_i + AV_i \quad (20)$$

$$AV_i = \begin{cases} C_{i-1} - S_i - sd, & \text{if } C_{i-1} - S_i \in [PP_j + sd, CZP_j] \\ C_{i-1} - S_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

**모드 3.** 이전 위치에서 예측 픽셀 값이 사용되었으나, 현재 위치에서는 예측 픽셀 값이 사용되지 아니한 경우. 임베딩 시퀀스 DE는 식 (6)을 사용하여 복원하고, 커버 이미지 시퀀스 C는 식 (22)를 사용하여 복원한다.  $AV_i$  는 식 (21)에 의해서 계산된 값이다.

$$C_i = C_{i-1} - AV_i \quad (22)$$

**복원단계 3.** 임베딩 시퀀스의 각 요소  $DE_i$ 에 식 (8)을 적용하여 스테고 이미지에 삽입되어 있는 기밀 데이터를 추출한다.

**복원단계 4.** 복원된 커버 이미지 시퀀스 C를 스캔하여 역  $s$ -순으로 원본 커버 이미지를 생성한다.

그림 6. 제안된 기법에서의 기밀 데이터 추출 및 원본 커버 이미지 복원 과정

Fig. 6. Secrete data extraction and original cover image restoration process of the proposed algorithm

### 4. 실험 결과

제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 512x512 gray scale 영상인 Lenna, Elaine을 커버 이미지로 사용하여 기밀 데이터를 은닉하여 스테고 이미지를 생성 하였고, 스테고 이미지로부터 기밀 데이터를 추출하고 원본 커버 이미지를 복원 하였다. 본 논문의 Abstract를 ASCII 코드로 변환한 것을 기밀 데이터

로 사용하였다. 식 (9), (10)에 사용된  $\alpha$ 는 0.298로 하였고, 식 (17)에 사용된  $\gamma$ 는 0.99로 하였다. 수식 (18)에서의 임계 값( $\beta$ )을 적용한 제안된 기법을 Proposed( $\beta$ )로 표기하였다. 커버 이미지로 사용된 Lenna, Elaine에 대한 실험 결과 영상들이 그림 7에 제시되어 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 스테고 이미지의 시각적인 화질이 우수하기 때문에 스테고 이미지와 커버 이미지를 구분하기가 어렵다.

커버 이미지에 대하여 APD 기법과 제안된 기법을 적용하여 실험을 수행한 결과가 표 1에 나타나 있다. 임계치( $\beta$ )를 0으로 두면, 예측 이미지는 커버 이미지와 동일하게 되기 때문에 제안된 기법은 APD 기법과 동일하게 된다. 표 1의 실험 결과에서 보는 바와 같이, 제안된 기법을 적용하여 픽셀 값을 예측 하면 평균 예측 오차가 적기 때문에 차분 시퀀스의 각 요소  $D_i$ 는 작은 값이 된다. 따라서 차분 시퀀스 D에 대한 히스토그램을 생성하면 peak point에서의 빈도수가 크게 증가하게 되어 커버 이미지에 삽입되는 기밀 데이터 비트수가 크게 증가 하게 된다.

제안된 기법을 적용하여 커버 이미지에 기밀 데이터를 은닉하면, 은닉되는 기밀 데이터의 양이 기존 APD 기법에 비하여 최대 29.7% 증가 하였고, 또한 커버 이미지에 다양한 레벨로 기밀 데이터를 은닉 할 수 있다. 제안된 기법은 스테고 이미지로부터 원본 기밀 데이터를 온전히 추출하고, 원본 커버 이미지를 손실 없이 복원할 수 있어 의료, 국방, 디지털 라이브러리 등의 응용분야에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

표 1. 제안된 기법의 실험 결과

Table 1. The experimental results of the proposed algorithm

영상	은닉 기법	은닉 비트수	PSNR (dB)	예측 적중률 (%)	평균 예측 오차	예측 횟수	은닉 비트수 증가율 (%)
Lenna	APD	48,424	48.60	x	x	x	x
	Pro.(0)	48,424	48.56	x	x	x	x
	Pro.(10)	55,990	35.61	17.79	1.88	120,073	15.6
	Pro.(20)	61,022	32.16	15.68	2.27	186,153	26.0
	Pro.(30)	62,821	30.37	14.70	2.58	211,560	29.7
Elaine	APD	30,487	48.42	x	x	x	x
	Pro.(0)	30,487	48.42	x	x	x	x
	Pro.(10)	31,351	36.51	16.08	2.96	35,697	2.8
	Pro.(20)	33,522	28.78	9.56	4.31	125,731	10.0
	Pro.(30)	35,393	25.99	8.13	4.88	198,185	16.1

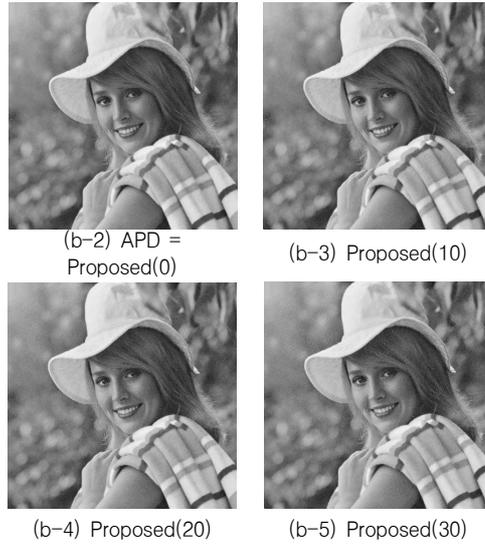
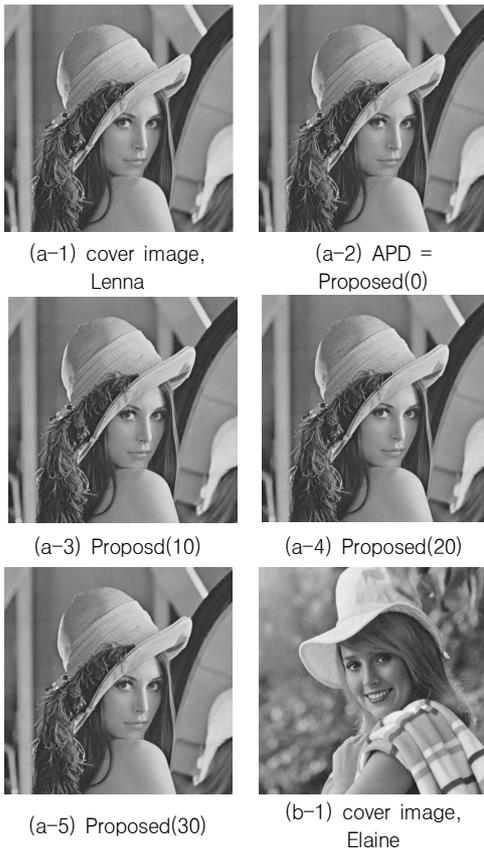


그림 7. 커버 이미지와 스테고 이미지  
Fig. 7. Cover images and stego-images



### 5. 결론

본 논문에서는 APD 기법의 성능을 개선하기 위한 효과적인 가역 데이터 은닉 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 사용하여 커버 이미지에 기밀 데이터를 은닉하면 기존의 APD 기법에 비하여 최대 29.7% 더 많은 기밀 데이터를 은닉시킬 수 있고, 또한 다양한 레벨로 기밀 데이터를 은닉시킬 수 있다. 제안된 기법을 적용하여 생성된 스테고 이미지의 시각적 화질이 우수하기 때문에 원본 커버 이미지와 기밀 데이터가 은닉된 스테고 이미지를 구분하기가 어렵다.

제안된 기법은 스테고 이미지로부터 원본 기밀 데이터를 온전하게 추출하고, 원본 커버 이미지를 손실 없이 복원할 수 있어 의료, 국방, 디지털 라이브러리 등의 응용분야에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

### REFERENCES

[1] H. C. Huang, C. M. Chu, and J. S. Pan, "The optimized copyright protection system with genetic watermarking," *Soft Computing*, Vol. 13, No. 4, pp. 333-343, Feb. 2009.  
[2] Z. Ni, Y. Q. Shi, N. Ansari, and W. Su,

- “Reversible data hiding,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 354-362, March 2006.
- [3] Y. C. Li, C. M. Yeh, and C. C. Chang, “Data hiding based on the similarity between neighboring pixels with reversibility,” *Digital Signal Processing*, Vol. 20, No. 4, pp. 1116-1128, July 2010.
- [4] C. L. Tsai, K. C. Fan, C. D. Chung, and T. C. Chuang, “Reversible and lossless data hiding with application in digital library,” *Proc. 38th Annual 2004 Int. Canahan Conf. on Security Technology*, pp. 226-232, Albuquerque, New Mexico, USA, Oct. 2004.
- [5] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, E. Saber, “Reversible data hiding,” *Proc. 2002 Intl. Conf. on Image Processing*, Vol 3, pp. 157-160, Rochester, New York, USA, Sep. 2002.
- [6] C. C. Chang, W. L. Tai, and C. C. Lin, “A reversible data hiding scheme based on side match vector quantization,” *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 16, No. 10, pp. 1301-1308, Oct. 2006.
- [7] L. Kamstra, H.J.A.M. Heijmans, “Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting,” *IEEE Trans. on Image Process*, Vol. 14, No. 12, pp. 2082-2090, Dec. 2005.
- [8] H. W. Tseng and C. P. Hsieh, “Reversible data hiding based on image histogram modification,” *Imaging Science Journal*, Vol. 56, No. 5, pp. 271-278, Oct. 2008.
- [9] X. Li, B. Li, B. Yang, and T. Zeng, “General Framework to Histogram shifting based Reversible Data Hiding,” *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 22, No. 6, pp. 2181-2191, Feb. 2013.
- [10] C. C. Lo, Y. C. Hu, W. L. Chen, and C. M. Wu, “Reversible Data Hiding Scheme for BTC-compressed Images based on Histogram Shifting,” *International Journal of Security and Its Applications*, Vol. 8, No. 2, pp. 301-314, March 2014.
- [11] S. M. Jung, B. W. On, “Reversible data hiding algorithm using spatial locality and the surface characteristics of image,” *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 21, No. 8, pp. 1-12, Aug. 2016.

---

저자약력

---

정 수 목(Soo-Mok Jung)

[중신회원]



- 1984 경북대학교 공학사
- 1986 경북대학교대학원 공학석사
- 2002 고려대학교 대학원  
컴퓨터학과 이학박사
- 현 재: 삼육대학교컴퓨터학부  
교수

<관심분야> 영상처리, 컴퓨터시스템