한국군사과학기술학회지 제13권 제2호, pp. 268~274, 2010년 4월

학술논문 정보기술 부문

# 세 방향 자료 은닉이 가능한 이미지 스테가노그래픽 기법 연구

## Steganographic Method Based on Three Directional Embedding

정 기 현* 김 인 택** 김 재 철**
Ki-Hyun Jung In-Taek Kim Jae-Cheol Kim

Abstract

A steganographic method using three directional data embedding for gray images is presented in this paper. Cover image is divided into non-overlapping 2x2 sub-blocks and the basis pixel is selected to calculate the three different values of each sub-block. Difference values are replaced by embedding the number of secret bits that is referenced by the range table. For the three pixel pairs in the sub-block, the optimal pixel adjustment is preceded to reduce the distortion of visual quality. The experimental results show that the proposed method achieves a good visual quality and high capacity.

Keywords : Data Hiding(자료은닉), Information Hiding(정보은닉), Watermarking(워터마킹), Steganography(스테가노그래피), Image Processing(이미지처리)

## 1. 서 론

스테가노그래피(Steganography)는 커버 객체(Cover-object)에 비밀 객체(Secret-object)를 숨기는 방법으로 숨겨진 스테고 객체(Stego-object)에 비밀 정보 자체가 숨겨져 있다는 사실을 공격자로부터 숨기는 기법을 의미한다. 여기에서 객체는 텍스트, 이미지, 오디오, 비디오 등을 포함한다.

커버 이미지의 각 픽셀에서 최하위에 속하는 비트를 비밀 데이터(Secret Data)의 비트열로 교체하는 LSB (Least Significant Bit) 교환 방법은 가장 직관적인 자료 은닉 기법이다. LSB 매칭(LSB Matching) 기법은 비밀 데이터를 숨기는 방법에 있어서 LSB 영역을 변경하지만, 커버 이미지의 값과 숨기고자 하는 비밀 데이터의 비트값이 다를 경우 커버 픽셀값을 더하거나 빼는 방법을 적용함으로써 이미지 품질(Visual Quality)을 개선하였다[1,2,11,12]. 개선된 LSB 매칭(Revised LSB Matching) 방법은 각 픽셀에서 변경이 예측되는 비트수를 최소로 낮추도록 개선된 자료 은닉 기법이다[2].

픽셀값 차이를 이용한 PVD(Pixel-Value Differencing) 방법은 두 연속된 픽셀값의 차이에 따라서 숨길 수 있는 비트수를 결정하는 기법으로 사람의 지각 능력으로는 구분하기 힘들도록 기능을 개선하였다[3,13]. 다

† 2010년 1월 11일 접수~2010년 3월 4일 게재승인
* 영진전문대학 컴퓨터정보계열
** 공군사관학교
책임저자 : 정기현(kingjung@paran.com)

른 방법으로는 이웃 픽셀간의 차이값들에 대한 상관계수를 이용하여 네 픽셀들에 대한 대비값 또는 평활도 값을 측정하여 숨길 수 있는 비트값을 결정하는 MPD 방법이 제시되었다[4]. 중복되지 않는 이웃한 네 픽셀쌍에 대한 차이값을 계산하고, 각 서브-블럭에 대하여 픽셀값 시프트(Pixel-value Shifting) 연산을 이용하여 최적화된 값을 찾게 된다. 또한 3단(Tri-way) 방향을 이용한 PVD 방법은 커버 이미지에 더 많은 비밀 자료를 숨길 수 있도록 제안되었는데, 스테고 이미지의 변형을 줄이기 위하여 참조 포인트를 이용하였다[5]. 비록 위에서 제안된 PVD와 연관된 자료은닉 기법들은 더 많은 비밀자료를 숨길 수 있도록 개선되었음에도 불구하고 사람의 눈에 띄지 않으면서 더 많은 비밀자료를 숨길 수 있는 여지가 남아 있다.

본 논문에서는 2x2 크기를 가진 각 서브-블록에 대한 기준 픽셀(Basis Pixel)을 선택하여 비밀자료를 숨길 수 있는 방법을 제안한다. 다음으로 각 서브-블럭에 존재하는 픽셀쌍에서 참조 픽셀쌍(Reference Pixel-pair)을 선택 함으로써 나머지 세 쌍의 픽셀에 대하여 조율이 이루어지게 되는 과정을 거치게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 본 논문에서 제안하고 있는 방법과 관련되는 자료은닉기법을 살펴보고, 3장에서 제안 방법에 대해서 상세하게 살펴본다. 제안된 방법에 대한 실험결과를 4장에서 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

PVD 방법은 숨기는 비트수를 결정하기 위하여 연속된 두 픽셀의 차이값을 계산하여 처리하고 있다[3]. 주어진 커버 이미지에서 차이값 $d_i$는 중복되지 않는 연속된 두 픽셀을 기준으로 계산된다. 먼저 두 픽셀값을 각각 $p_i$, $p_{i+1}$라고 하면, 차이값 $d_i = | p_i - p_{i+1} |$로 계산되며, $0 \le d_i \le 255$ 조건을 만족한다. 하나의 서브-블록 $B$와 인덱스값을 $i$라고 정의하면 숨길 수 있는 비트수 $n = log_2(u - l + 1)$로 계산된다. 여기에서 $u$와 $l$는 범위 테이블 $R_{i+1}( i = 1, 2, ..., w)$에서의 상계(Upper Bound)와 하계(Lower Bound)값을 나타낸다. 다음으로 비밀자료 $S$에서 $n$개의 비트값을 가져와서 새로운 차이값 $d'_i = | l_i + b |$이 계산되며, 여기에서 $b$는 선택된 비밀자료의 비트값에 대한 정수값을 나타낸다. $d'_i$값이 계산된 이후 스테고 이미지에 해당되는 새로운 두 픽셀값 $p'_i$, $p'_{i+1}$이 만들어지게 된다. Fig. 1에서 자료은닉 과정을 설명하고 있는데, 두 픽셀값을 (51, 84)라고 두면 차이값 $d = | 84 - 51 | = 33$이 구해진다. 다음으로 숨길 수 있는 비트수 $n = 5$로 결정되며, 이때 비밀자료를 $10101_2$라고 주어진다면 이 값에 해당되는 정수값은 21이 된다. 다음으로 새로운 차이값 $d' = 44$이 계산되고, 최종적으로 새로운 픽셀값을 구하게 된다. 그러므로 계산에 의해서 (45, 89)라는 스테고 이미지의 새로운 픽셀값이 만들어진다.

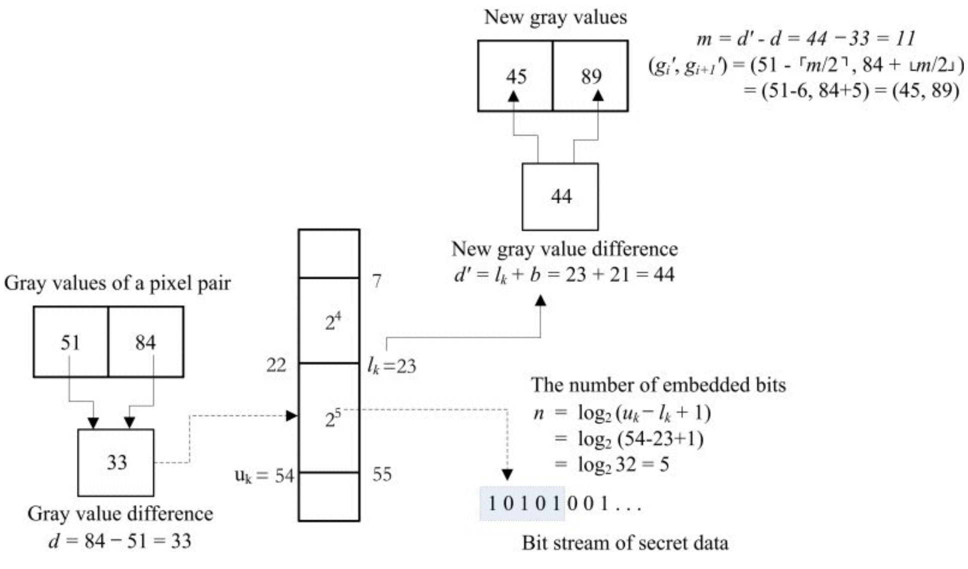


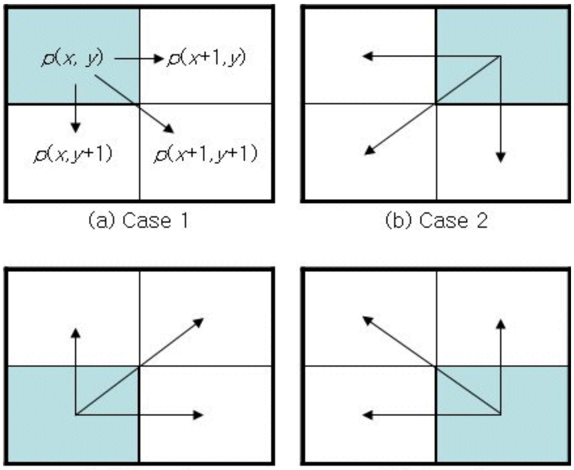

Fig. 1. PVD를 이용한 자료은닉 예

## 3. 제안 방법

PVD 방법에서는 연속된 두 픽셀에 대하여 숨길 수 있는 비트수가 차이값으로 결정되었다. 이러한 PVD 방법에서는 오직 한 방향만 고려하여 비밀 자료를 숨긴다는 단점을 가지게 된다. 본 논문에서 제안한 방법은 PVD 단점을 극복하고, RS-다이어그램 검출 공격을 피하면서 더 많은 비밀자료를 숨길 수 있도록 하기 위하여 블록에 기초한 자료은닉 기법을 제안한다.

### 가. 자료은닉 위치

커버 이미지에 대해서 먼저 2x2 서브-블록으로 나누고 하나의 서브-블록에서 세 쌍의 픽셀쌍에 대한 차이값을 계산하고, 기준 픽셀을 결정하게 된다. 이 기준 픽셀값은 범위 테이블을 참조하여 숨길 수 있는 비트수를 결정하는데 사용되어진다. 이 기준 픽셀의 위치를 한 곳으로 결정하는 대신에 각 서브-블록의 픽셀값에 따라 결정되므로, 스테고 이미지에 대한 공격을 견고하게 만들어주게 된다. Fig. 2에서 기준 픽셀이 결정될 수 있는 위치를 보여주고 있는데, 여기에서 차이값을 구하는 순서는 시계 반대방향을 따르게 된다. 본 논문에서 제안된 방법은 PVD 방법과는 다르게 수직 에지와 수평 에지를 동시에 고려할 수 있게 된다.



(a) Case 1 (b) Case 2

(c) Case 3 (d) Case 4

Fig. 2. 서브-블록에서의 기준 픽셀 예

### 나. 자료은닉 알고리즘

지금부터 비밀자료를 숨기는 구체적인 알고리즘을 살펴보기로 한다. 각각의 차이값은 기준 픽셀을 중심으로 계산되어지며 숨기는 비트수는 세 방향의 픽셀쌍에 적용된다.

**알고리즘 1.** 자료은닉 알고리즘

**입력:** cw x *ch* 크기의 커버 이미지와 숨길 비밀자료
**출력:** *sw* x *sh* 크기의 스테고 이미지

**1단계:** 커버 이미지에 대해서 2x2 크기의 중복되지 않는 서브-블록으로 나눈다.

**2단계:** 선택된 기준 픽셀에 대해서 세 개의 픽셀쌍에 대한 차이값을 계산한다.
먼저 $0 \le i \le 2$ 조건을 만족하는 $d_i$를 차이값으로 정의하면, Fig. 2에서 설명한 바와 같이 세 방향의 픽셀쌍에서 가장 큰 값을 가진 쌍을 기준 픽셀쌍으로 정의할 수 있다. 여기에서 최대값을 $d_0$라고 정의하자. 예를 들어, Fig. 2의 1번의 경우를 고려하여 네 개의 픽셀값 $p(x, y)$, $p(x+1, y)$, $p(x, y+1)$, $p(x+1, y+1)$을 각각 39, 150, 25, 91라고 두자. 각각의 차이값을 아래와 같이 계산하면 기준 픽셀쌍은 $p(x, y)$와 $p(x+1, y)$가 됨을 알 수 있다.

$$d_0 = |\ p(x+1, y) - p(x, y)\ | = |\ 150 - 39\ | = 111,$$
$$d_1 = |\ p(x, y+1) - p(x, y)\ | = |\ 25 - 39\ | = 14,$$
$$d_2 = |\ p(x+1, y+1) - p(x, y)\ | = |\ 91 - 39\ | = 52.$$

**3단계:** 주어진 서브-블럭과 차이값을 이용하여 숨길 수 있는 비트수를 계산한다. 먼저 $d_i$값에 대한 상단과 하단 범위에 해당되는 값을 각각 $u_i$와 $l_i$라고 정의하면, 숨길 수 있는 비트수 $n_i = log_2(u_i - l_i + 1)$와 같이 결정된다.

**4단계:** 계산되어진 세 개의 차이값을 대해서 비밀자료로부터 $n_i$ 비트 크기만큼 읽어들여 이 값을 정수값 $s_i$으로 바꾼다.

**5단계:** 새로운 차이값 $d'_i = |\ l_i + s_i\ |$를 계산한다.

**6단계:** 기준 픽셀쌍에 대해서 새로운 픽셀쌍의 값을 계산한다. $m_i = |\ d'_i - d_i\ |$라고 하고 새로운 두 픽셀값을 각각 $p'_i$, $p'_{i+1}$라고 두면, 새로운 픽셀값은 아래와 같이 계산된다.

$$(p'_i, p'_{i+1}) = (p_i - \lceil m_0/2 \rceil, p_{i+1} + \lfloor m_0/2 \rfloor), \text{ for } d_0 = 1\ mod\ 2,$$

$(p'_i, p'_{i+1}) = (p_i - \lfloor m_0/2 \rfloor, p_{i+1} + \lceil m_0/2 \rceil)$, for $d_0 = 0 \ mod \ 2$.

다음으로 남아있는 나머지 두 개의 픽셀쌍에 대해서 아래 공식에 의해서 새로운 값이 생성되게 된다.

$(p'_i, p'_{i+1}) = (p_i - \lceil m_0/2 \rceil, p_{i+1} - \lceil m_0/2 \rceil + \lfloor m_i/2 \rfloor)$, for $d_0 = 1 \ mod \ 2$,

$(p'_i, p'_{i+1}) = (p_i - \lfloor m_0/2 \rfloor, p_{i+1} - \lfloor m_0/2 \rfloor + \lceil m_i/2 \rceil)$, for $d_0 = 0 \ mod \ 2$.

여기에서 기준 픽셀 $p(x, y)$ 값에 해당하는 값은 변경 후의 값 $p'_i$은 세 경우 모두 동일함을 보장하여야 한다.

**7단계:** 한 서브-블록에서 새 개의 픽셀쌍에 대해서 *MSE*값을 최소화시키기 위해서 최적의 참조 포인트에 대한 선택 룰을 적용하여 두 픽셀쌍에 대하여 값을 조정하게 된다.

예를 들어, Fig. 3과 같이 네 개의 픽셀들이 하나의 서브-블록으로 주어졌다고 하자. 여기에서 차이값 $d_0 = |\ 125 - 51\ | = 74$, $d_1 = |\ 84 - 51\ | = 33$, $d_2 = |\ 60 - 51\ | = 9$로 계산되어지므로 기준 픽셀쌍으로 (51, 125)로 결정된다. 다음으로 각 픽셀쌍에 숨길 수 있는 비트수 $n_i$를 계산하는데, 그 값이 각각 6, 5, 3으로 결정된다. 비밀자료가 $01011000011101_2$로 주어졌다고 가정할 경우, $010110_2 = 22$, $00011_2 = 3$, $101_2 = 5$값을 세 픽셀쌍에 숨길 수 있게 된다. 그러므로, 새로운 차이값 $d'_0 = |\ 63 + 22\ | = 85$, $d'_1 = |\ 31 + 3\ | = 34$, $d'_2 = |\ 7 + 5\ | = 12$로 각각 계산되며, 마지막으로 새로운 픽셀값은 (46, 131), (46, 81), (46, 56)과 같이 계산되어진다.

본 논문에서 제안된 자료은닉 방법은 기존의 PVD 방법에서 제안된 단방향으로 단지 두 픽셀에 대해서 비밀자료를 숨기는 것과는 달리 세 쌍의 픽셀에 자료를 숨길 수 있다. 또한 3단(Tri-way) 방향 PVD에서 고정된 시작 포인트를 사용하는 대신에 제안된 방법은 기준 픽셀이 커버 이미지의 각 픽셀값에 따라서 변경되게 됨으로써 더욱 강인한 자료은닉 기법을 제공한다.

### 다. 자료추출 알고리즘

아래 단계는 스테고 이미지로부터 숨겨진 비밀자료를 추출하는 과정을 나타내고 있다. 커버 이미지에 대한 정보가 필요하지 않으며, 스테고 이미지로부터 직접 비밀자료를 찾아낼 수 있다.

**알고리즘 2.** 비밀자료 추출 알고리즘

**입력:** *sw* x *sh* 크기의 스테고 이미지와 범위 테이블
**출력:** 숨겨진 비밀자료

**1단계:** 중복되지 않는 2x2 크기의 서브-블록으로 나눈다.

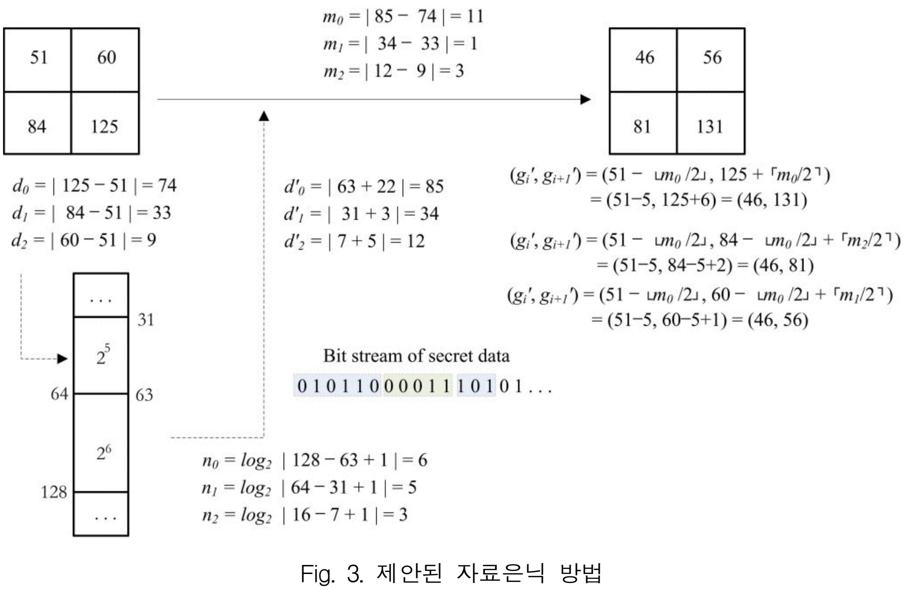



Fig. 3. 제안된 자료은닉 방법

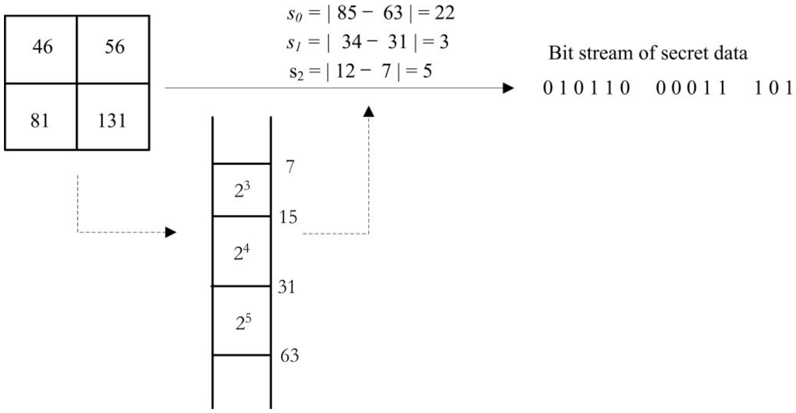



Fig. 4. 제안된 자료추출 방법

**2단계:** 한 서브-블록에서 기준 픽셀을 중심으로 한 차이값 $d'_i$를 계산한다.

**3단계:** 범위 테이블을 이용하여 하단 범위에 해당되는 값 $l_i$를 계산한다.

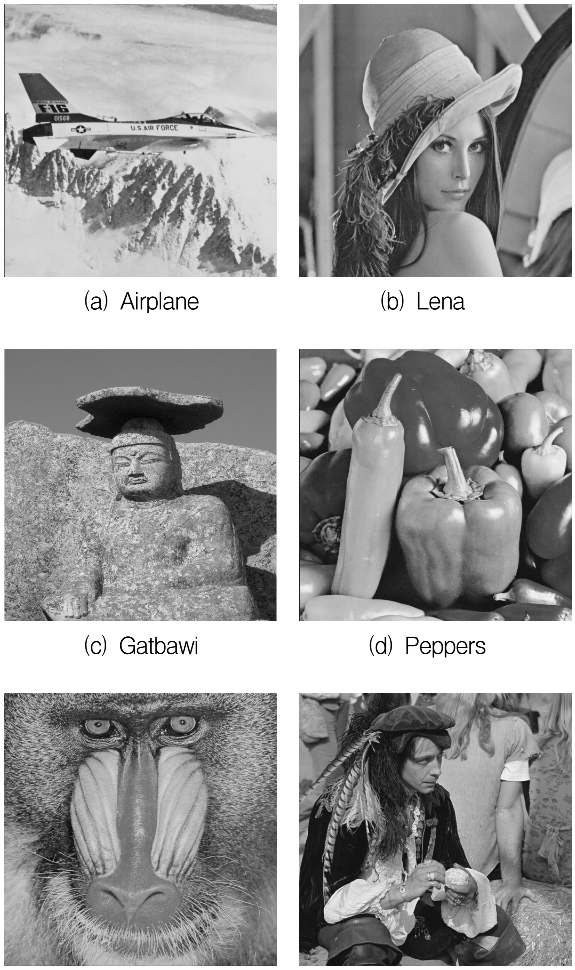
**4단계:** 숨겨진 비트 $s_i$에 대한 정수값을 추출한다. 여기에서 $s_i$ = | $d'_i$ - $l_i$ |에 의해서 구해진다.

**5단계:** 추출된 비트를 순서대로 연결하여 숨겨진 비밀자료를 생성한다.

예를 들어, Fig. 4와 같이 비밀자료가 숨겨진 하나의 서브-블록이 주어졌을 경우 숨겨진 비트값을 추출하는 과정은 아래와 같다. 두 픽셀 (46, 131)에 대해서 $s_0$ = | 85 - 63 | = 22와 같이 값을 얻을 수 있으며, $s_1$ = | 34 - 31 | = 3은 (46, 81) 픽셀값에 대하여 계산된 결과이다. 마지막으로 (46, 56) 픽셀에 대해서 $s_2$ = | 12 - 7 | = 5값이 구해진다. 그러므로 얻어진 비밀 비트 값은 $01011000011101_2$이 추출되며 정확하게 숨겨진 값과 동일함을 알 수 있다.

## 4. 실험 결과

본 논문의 실험에서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 512x512 이미지를 커버 이미지로 사용하고, 비밀자료는 무작위로 생성하여 사용한다. 사람의 시각 인지 정도를 측정하기 위하여 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 값으로 표시하고, 비밀자료를 숨길 수 있는 용량을 측정하여 비교한다. 실험에서 사용된 이미지는 0 ≤ $p_i$ ≤ 255 값을 가진 그레이 이미지로 커버 이미지가 *cw*



(a) Airplane (b) Lena

(c) Gatbawi (d) Peppers

(e) Baboon (f) Man

Fig. 5. 사용된 커버 이미지

x *ch*로 주어져 있으므로 다음과 같이 주어진다.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} 255^2 / MSE,$$

여기에서 *MSE*는 평균 제곱 오차(Mean Square Error)를 나타낸다. 범위 테이블은 [0, 7], [8, 15], [16, 31], [32, 63], [64, 127], [128, 255]로 주어진다.

Table 1은 기존의 다른 기법과 숨길 수 있는 비밀자료의 크기를 비교하고 있으며 Table 2는 이미지 품질에 비교를 나타내고 있다.

Table 1. 숨김 비밀자료 용량 비교

| Cover Images | Capacity(bits) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PVD | MPD | Tri-way | Proposed |
| Airplane | 409,778 | 584,008 | 610,300 | 624,313 |
| Lena | 409,807 | 590,518 | 609,363 | 618,120 |
| Gatbawi | 459,947 | 702,054 | 656,925 | 728,452 |
| Peppers | 407,407 | 594,241 | 607,442 | 615,506 |
| Baboon | 457,087 | 724,250 | 661,380 | 739,055 |
| Man | 424,585 | 620,729 | 627,614 | 650,672 |

Table 2. 이미지 시각 품질 비교

| Cover Images | PSNR(dB) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | PVD | MPD | Tri-way | Proposed |
| Airplane | 40.06 | 35.05 | 38.46 | 38.89 |
| Lena | 41.18 | 36.92 | 40.80 | 41.25 |
| Gatbawi | 36.41 | 28.11 | 33.07 | 34.24 |
| Peppers | 40.98 | 35.76 | 40.25 | 37.62 |
| Baboon | 37.00 | 29.35 | 32.63 | 34.33 |
| Man | 39.09 | 32.94 | 36.63 | 36.41 |

제안된 방법과 PVD 방법과 비교하였을 경우, 234,585 비트만큼 더 숨길 수 있었으나, Table 2에서 보여지는 이미지 품질 비교에서는 평균 2.00dB 손실이 발생하였다. 결과적으로, PSNR값이 30.00dB 이상을 유지하고 있으므로, 사람의 시각으로는 구별할 수가 없게 된다. MPD 방법과 비교하였을 경우, 제안된 방법이 26,720비트를 더 숨길 수 있었으며, 또한 평균 4.10dB로 시각적인 품질에서도 우수하였다. 3단 방향 PVD 방법과 비교한 경우에는 숨길 수 있는 크기는 33,849비트만큼 많았고, PSNR값도 평균 0.15dB로 높았다. 여기에서 사용된 평균은 실험에 사용된 6개 이미지에 대한 평균을 나타낸다.

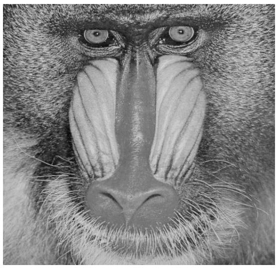
Fig. 6은 비밀자료가 숨겨진 결과를 나타내는 스테고 이미지로 보여주고 있다. 실험결과에서 PSNR값이 평균 37.12dB를 유지하고 있으므로 사람의 육안으로는 그림의 변경 유무를 구별하기가 힘들게 된다.

(a) PSNR=38.89dB

(b) PSNR=41.25dB

(c) PSNR=34.24dB

(d) PSNR=37.62dB



(e) PSNR=34.43

(f) PSNR=36.41dB

Fig. 6. 자료은닉 결과 스테고 이미지

## 5. 결 론

본 논문에서는 세 방향에 대한 픽셀값 차이를 이용한 자료은닉 방법을 제안하였다. 먼저 커버 이미지는 중복되지 않는 2x2 크기의 서브-블록들로 나누어지고

각 서브-블록에 대해서 세 개의 차이값을 계산하였다. 이 차이값들은 숨길 수 있는 비트수를 결정하는데 사용되었는데, 이 값을 결정하기 위하여 범위 테이블이 사용되었다. 다음으로 한 서브-블록에 있는 세 개의 픽셀쌍에 대하여 이미지의 왜곡을 줄이기 위하여 최적화된 픽셀 조정 알고리즘이 적용되었다.

본 논문에서의 실험결과에 따르면, 제안된 자료은닉 기법이 더 많은 비밀자료를 숨겼고, 기존의 방법과 비교하였을 경우에 이미지 품질 또한 우수하였다. 본 논문의 실험에서 제안된 방법이 기존 세 개의 자료은닉 기법과 비교하였을 경우에 각각 234,585 비트, 26,720 비트, 33,849 비트를 더 숨길 수 있었다.

## Reference


[1] Ker, A., Steganalysis of LSB Matching in Grayscale Images, IEEE Signal Processing Letters 12, pp. 441～444, 2005.

[2] Mielikainen, J., LSB Matching Revisited, IEEE Signal Processing Letters 13, pp. 285～287, 2006.

[3] Wu, D. C., Tsai, W. H., A Steganographic Method for Images by Pixel-value Differencing, Pattern Reccognition Letters 24, pp. 1613～1626, 2003.

[4] Yang, C. H., Weng, C. Y., A Steganographic Method for Digital Images by Multi-pixel Differencing, International Computer Symposium, IEEE, pp. 831～836, 2006.

[5] Chang, K. C., Huang, P. S., Tu, T. M., Chang, C. P., Adaptive Image Steganographic Scheme Based on Tri-way Pixel-value Dierencing, Systems, Man and Cybernetics, IEEE, pp. 1165～1170, 2007.

[6] Johnson, N. F., Exploring Steganography - Seeing the Unseen, Computer Practices, pp. 26～34, 1998.

[7] Swanson, M. Kobayashi, M. Tewk. A., Multimedia Data Embedding and Water-marking Technologies, Proceeding of IEEE 86, pp. 1064～1087, 1998.

[8] Fridrich, J., Goljan, M., Du, R., Invertible Authentication, Proceedings of SPIE, Security and Watemarking of Multimedia Contents, pp. 197～208, 2001.

[9] Macq, B., Deweyand F., Trusted Headers for Medical Images, DFG VIII-D II Watermarking Workshop, Erlangen, Germany, 1999.

[10] Chan, C. K., Cheng, L. M., Hiding Data in Images by Simple LSB Substitution, Pattern Recognition 37, pp. 469～474, 2004.

[11] Chang, C. C., Lin, M. H., Hu, Y. C., A Fast and Secure Image Hiding Scheme Based on LSB Substitution, International Journal of Pattern Recognition 16, pp. 399～416, 2002.

[12] Wang, R. Z., Lin, C. F., Lin, J. C., Image Hiding by Optimal LSB Substitution and Genetic Algorithm, Pattern Recognition 34, pp. 671～683, 2001.

[13] Thien, C. C., Lin, J. C., A Simple and High-hiding Capacity Method for Hiding Digit-by-digit Data in Images Based on Modulus Function, Pattern Recognition 36, pp. 2876～2881, 2003.

[14] Jung, K. H., Yoo, K. Y., Data Hiding Method using Image Interpolation, Computer Standards and Interfaces 31, pp. 465～470, 2009.

[15] Lin, I. C., Lin Y. B., Wang, C. M., Hiding Data in Spatial Domain Images with Distortion Tolerance, Computer Standards and Interfaces 31, pp. 458～464, 2009.

[16] Lin, C. C., Chen, S. C., Hsueh, N. L., Adaptive Embedding Techniques for VQ-compressed Images, Information Sciences 179, pp. 140～149, 2009.

[17] Lee, C. F., Chang, C. C., Wang, K. H., An Improvement of EMD Embedding Method for Large Payloads by Pixel Segmentation Strategy, Image and Vision Computing 26, pp. 1670～1676, 2008.

[18] Goljan, M., Fridrich, J., Holotyak. T., New Blind Steganalysis and Its Implications, Proceedings of SPIE Electronic Imaging, pp. 1～13, 2006.

[19] Cheddad, A., Condell, J., Curran, K., Kevitt. P. M., Digital Image Steganography : Survey and Analysis of Current Methods, Signal Processing 90, pp. 727～752, 2010.

[20] Wu, H. C., Wang, H. C. Tsai, C. S., Wang, C. M., Reversible Image Steganographic Scheme Via Predictive Coding, Displays 31, pp. 35～43, 2010.

[21] Sabeti, V., Samvi, S., Mahdavi, M., Shirani, S., Steganalysis and Payload Estimation of Embedding in Pixel Differences using Neural Networks, Pattern Recognition 43, pp. 405～415, 2010.