

An advanced reversible data hiding algorithm based on the similarity between neighboring pixels

Soo-Mok Jung*

Abstract

In this paper, an advanced reversible data hiding algorithm which takes the advantage of the spatial locality in image was proposed. Natural image has a spatial locality. The pixel value of a natural image is similar to the values of neighboring pixels. So, using the neighboring pixel values, it is possible to precisely predict the pixel value. Frequency increases significantly at the peak point of the difference histogram using the predicted values. Therefore, it is possible to increase the amount of data to be embedded. By using the proposed algorithm, visually high quality stego-image can be generated, the original cover image and the embedded data can be extracted from the stego-image without distortion. The embedding data into the cover image of the proposed algorithm is much larger than that of the previous algorithm. The performance of the proposed algorithm was verified by experiment. The proposed algorithm is very useful for the reversible data hiding.

▶ Keyword : cover image, stego-image, data hiding, reversible data hiding, locality

1. Introduction

데이터 은닉기법(data hiding)은 이미지나 동영상과 같은 cover media에 비밀 데이터를 삽입(embedding)하는 중요한 기법이다. 데이터 은닉기법에서는 감춰진 비밀 데이터를 인지할 수 없어야 한다[1][2]. 비밀 데이터가 cover image에 삽입되어 생성된 stego-image로부터 비밀 데이터를 추출(extraction)하게 된다.

비인지성 요구조건(imperceptibility requirement)을 만족시키기 위해서는 stego-image의 화질(quality)이 뛰어나야 한다. Stego-image의 화질을 높이기 위하여 제안된 대부분의 데이터 은닉 기법들은 stego-image로부터 비밀 데이터를 추출한 후에 얻게 되는 복원된 cover image에 왜곡이 발생하여 원본 cover image와 일치 하지 않는다.[3]

Stego-image로부터 비밀 데이터를 추출한 후에 얻게 되는 복원된 cover image가 원본 cover image와 완전히 일치하는 가역적(reversible) 데이터 은닉 기법은 의학, 군사, 디지털 라이브러리(digital library) 등의 응용에서 매우 중요하다.[4]

최근에 다양한 가역적 데이터 은닉 기법들이 제안되어 왔다.[1]~[14] Ni 등은 이미지의 히스토그램(histogram)을 사용하는 가역적인 데이터 은닉기법(NSAS)을 제안하였다.[2] NSAS기법은 cover image에 대한 히스토그램에서 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 cover image에 대한 히스토그램의 peak point에서의 픽셀 수로 제한되는 한계가 있다.

Li 등은 NSAS기법을 개선한 APD(Adjacent Pixel Difference)기법을 제안하였다.[3] APD기법에서는 cover image에 삽입되는 데이터 비트수를 증가시키기 위하여 cover image로부터 인접 픽셀 간의 픽셀 값의 차(difference)로 구성되는 픽셀 값 차분 시퀀스(pixel value difference sequence)를 생성한 후, 픽셀 값 차분 시퀀스에 대하여 히스토그램을 구한다. 인접한 픽셀 값들은 유사성(similarity)을 갖기 때문에 픽셀 값 차분 시퀀스를 구성하는 값(difference value)들은 매우 작은 값들을 갖게 되며, 생성된 히스토그램의 peak point에서

*First Author: Soo-Mok Jung, Corresponding Author: Soo-Mok Jung

*Soo-Mok Jung (jungsm@syu.ac.kr), Division of Computer Science & Engineering, Sahmyook University

*Received: 2016. 02. 03, Revised: 2016. 02. 11, Accepted: 2016. 02. 19.

의 빈도수가 매우 크게 되어 cover image에 삽입할 수 있는 데이터 비트수가 크게 증가하게 된다. APD기법에서는 cover image에 삽입하는 데이터 비트수가 인접 픽셀 값 차분 시퀀스에 대한 히스토그램의 peak point에서의 빈도수로 제한되는 단점이 있다.

본 논문에서는 APD기법의 삽입 데이터 비트수를 증가시키기 위하여 자연영상에 존재하는 지역성(locality)을 효과적으로 활용하는 효율적인 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 인접 픽셀 값들을 사용하여 지역성이 높을 것으로 예상되는 위치에서의 픽셀 값을 정밀하게 예측한 후 예측 결과를 이용하여 픽셀 값 차분 시퀀스를 구성함으로써 히스토그램의 peak point에서의 빈도수를 증가시켜, 삽입되는 데이터 비트수를 증가시킨다. 인접 픽셀 값 예측이 정확할수록 픽셀 값의 차로 구성되는 픽셀 값 차분 시퀀스의 히스토그램의 peak point에서의 빈도수가 증가하게 되어 cover image에 삽입되는 데이터 비트수를 크게 증가시킬 수 있다. 제안된 기법을 사용하면 cover image에 삽입 되는 데이터 비트수가 APD기법에 비하여 크게 증가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 APD기법에 대하여 기술하였다. 3장에서는 제안된 가역 데이터 은닉 기법에 대하여 기술하였다. 4장에서는 실험결과를 기술한 후, 이를 분석하였고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. Adjacent Pixel Difference(APD)

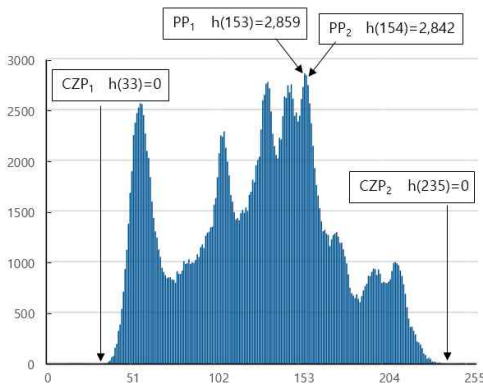


Fig. 1. Histogram of 512x512 Lenna image

그림 1은 512x512 크기의 gray scale 영상인 Lenna영상에 대한 히스토그램이다. 히스토그램에서 최대 빈도수를 갖는 픽셀 값을 PP₁(peak point 1), 두 번째로 큰 빈도수를 갖는 픽셀 값을 PP₂, PP₁에 가장 가까이에 있는 빈도수가 0인 값을 갖는 픽셀 값을 CZP₁(closest zero point 1), PP₂에 가장 가까이에 위치한 빈도수가 0인 값을 갖는 픽셀 값을 CZP₂로 표시하면 그림 1에서 보는 바와 같이 PP₁=153, CZP₁=33, PP₂=154, CZP₂=235가 된다. Ni 등은 히스토그램 쉬프트를 이용한 테

터 은닉 기법(NSAS)을 제안하였는데, 임베딩 되는 데이터 비트 수는 각 peak point에서의 빈도수의 합인 5,701 bit로 제한되는 단점이 있다.

NSAS의 단점을 개선하기 위하여 Li 등은 인접한 픽셀 값들이 비슷한 값을 갖는 특성을 효과적으로 이용하여 cover image에 임베딩 되는 데이터 비트수를 크게 증가시켰다. APD 기법에서는 cover image를 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 inverse s-order 순으로 스캔하여 픽셀 값 시퀀스(sequence) D를 생성한 후, 식 (1)을 적용하여 시퀀스 D로부터 인접한 픽셀 간의 픽셀 값 차분 시퀀스 F를 구성한다. 자연 영상(natural image)에는 지역적 유사성(local similarity)이 존재하기 때문에 인접한 픽셀(adjacent pixel)들 사이의 픽셀 값 차이는 0(zero)에 가깝게 되어 시퀀스 F는 0과 0에 가까운 값들을 갖게 되고, 시퀀스 F에 대한 히스토그램은 0과 0 주위의 값들에서의 빈도수가 크게 증가하게 된다. 식 (1)에서 $n=(\text{image height}) \times (\text{image width})$ 이다.

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

Lenna영상으로부터 생성된 시퀀스 F에 대한 히스토그램은 그림 2와 같이 되며 PP₁=0, CZP₁=-103, PP₂=1, CZP₂=116 이 된다.

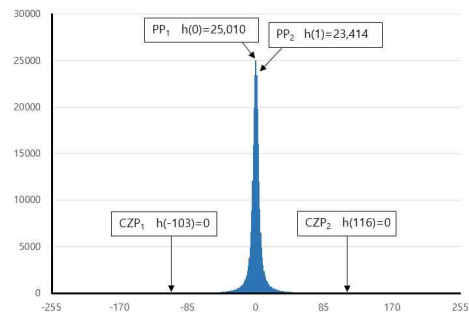


Fig. 2. Histogram of sequence F

APD기법에서는 시퀀스 F에 대한 히스토그램을 쉬프트 시켜서 데이터를 임베딩하기 때문에 임베딩 되는 최대 비트수는 peak point에서의 빈도수의 합인 $h(PP_1) + h(PP_2) = 48,424$ 비트가 된다. 따라서 512x512 gray scale Lenna 영상의 경우에는 NSAS기법에 비하여 42,723비트를 더 많이 삽입할 수 있어, cover image에 삽입되는 비트수가 8.5배 정도 증가 하게 된다. APD기법의 process는 그림 3과 같다.

- Step 1. cover image의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 inverse s-order 순으로 scan하여 픽셀 값들로 구성되는 시퀀스 D 생성.
- Step 2. 식 (1)을 만족하는 인접 픽셀 간의 픽셀 값 차분 시퀀스 F 생성.
- Step 3. F에 대한 히스토그램을 생성한 후, PP₁, CZP₁,

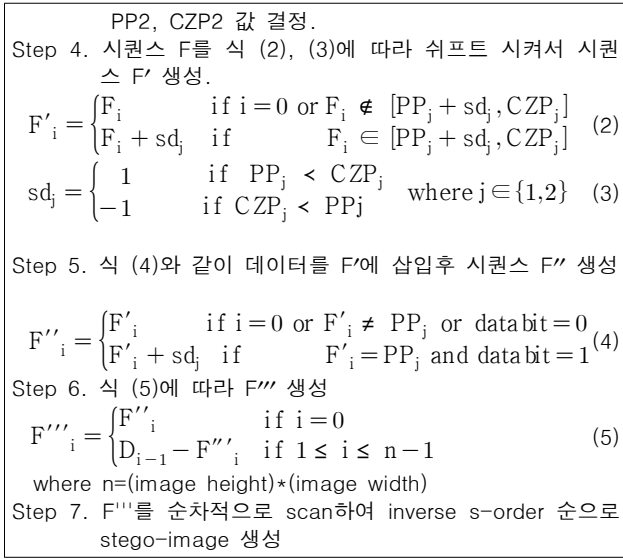


Fig. 3. The embedding process of APD

Cover image에 데이터를 삽입하여 생성된 stego-image로부터 데이터를 추출하고 원본 cover image를 복원하는 절차는 그림 4와 같다. 그림 3과 그림 4의 절차를 따라 cover image에 데이터를 삽입하여 stego-image를 생성하고, 생성된 stego-image로부터 데이터와 cover image를 추출하면 원본 데이터와 원본 cover image와 각각 일치하게 되며, 대량의 데이터를 은닉할 수 있는 우수한 가역적 데이터 은닉 기법이다.

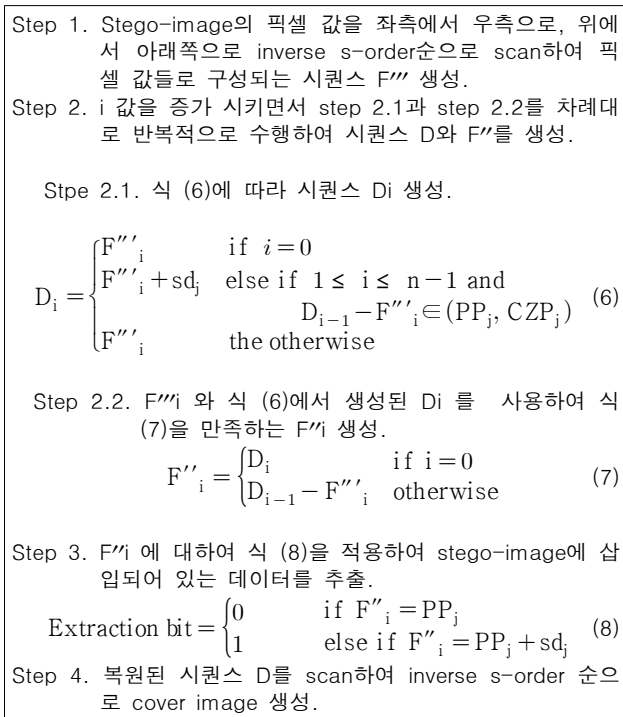


Fig. 4. The data extraction process of APD

그림 3의 step5에서 보는 바와 같이 APD기법에서 cover image에 삽입되는 최대 데이터 비트수는 h(PP1)+h(PP2)가 된다. Embedding process와 data extraction process에 대한 예제가 그림 5와 그림 6에 나타나 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 PP1=1, PP2=0이며 h(PP1)=8, h(PP2)=7이다. 따라서 cover image에 삽입되는 최대 데이터 비트수는 15비트이다.

Cover image에 데이터 비트가 삽입되어 생성된 stego-image는 원본 cover image와 차이가 있어 stego-image의 화질은 저하되지만, stego-image로부터 삽입된 데이터와 원본 cover-image가 그림 6에서 보는 바와 같이 손실 없이 완벽하게 추출되기 때문에 의료, 국방 등의 응용에 매우 적합하게 응용될 수 있다.

III. Proposed Algorithm(APDP)

자연 영상에는 일반적으로 공간적 지역성(spatial locality)이 존재한다. 즉, 인접한 픽셀 값들은 매우 비슷한 값을 갖는 특성이 있다.

제안된 기법에서는 인접 픽셀 값들을 이용하여 지역성이 높을 것으로 예상되는 위치에서의 픽셀 값을 정밀하게 예측(prediction)한 후 예측 결과를 이용하여 픽셀 값 차분 시퀀스를 구성함으로 히스토그램의 peak point에서의 빈도수를 증가시켜, 삽입되는 데이터 비트수를 증가시킨다. 인접 픽셀 값 예측이 정확하면 픽셀 값의 차로 구성되는 픽셀 값 차분 시퀀스의 히스토그램의 peak point에서의 빈도수가 크게 증가하게 되어 cover image에 삽입되는 데이터 비트수가 증가하게 된다.

그림 7에서와 같이 (a)의 cover image의 픽셀 값들을 사용하여 굵은 선 안쪽의 픽셀 값들을 (b)에 표시된 방법으로 예측한 후, (c)와 같은 예측 영상을 생성한다. (c)에서 밀줄 친 픽셀 값들은 해당위치에서의 예측 값을 나타낸다. 제안된 기법에서 픽셀 값 예측 순서는 inverse s-order 순으로 수행하며, 픽셀 값 예측에는 기 scan된 12개의 픽셀 값들을 사용한다. 그림 7에서 ①의 위치(x, y)에서의 임시 예측 픽셀 값(V)은 식 (9)와 같이 구한다. 식 (9)에서의 α는 인접픽셀 값이 임시 예측 픽셀 값에 미치는 영향을 나타내는 계수이다. 즉, 좌우·상·하로 인접해 있는 픽셀들이 현재 위치의 픽셀에 미치는 영향을 1로 두고, 한 픽셀 떨어져 있는 위치의 픽셀들이 미치는 영향을 나타내는 계수를 α로 두었다.

$$V(x,y) = [(P(x-1,y) + P(x-1,y-1) + P(x,y-1) + P(x+1,y-1) + P(x-2,y) + P(x-2,y-1) + P(x-2,y-2) + P(x-1,y-2) + P(x,y-2) + P(x+1,y-2) + P(x+2,y-2) + P(x+2,y-1)) * \alpha] / (4 + 8 * \alpha) \quad (9)$$

임시 예측 픽셀 값과 주변 픽셀 값들과의 편차(dev)를 식

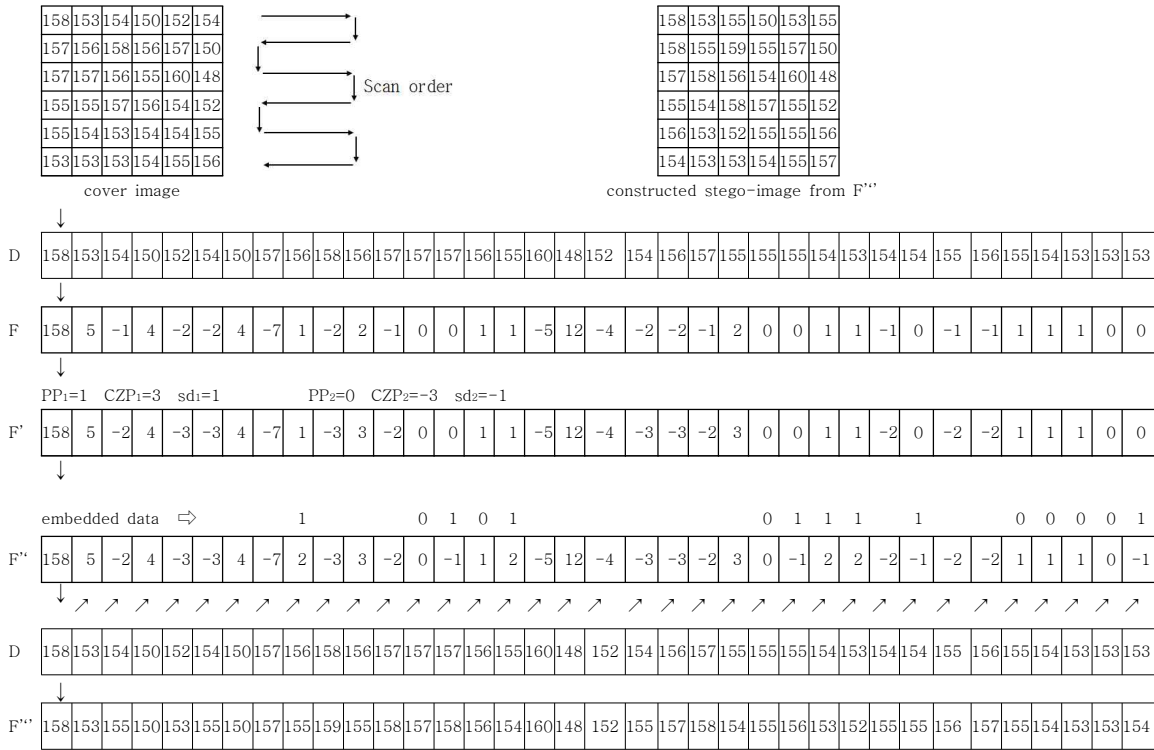


Fig. 5 Data embedding process of APD

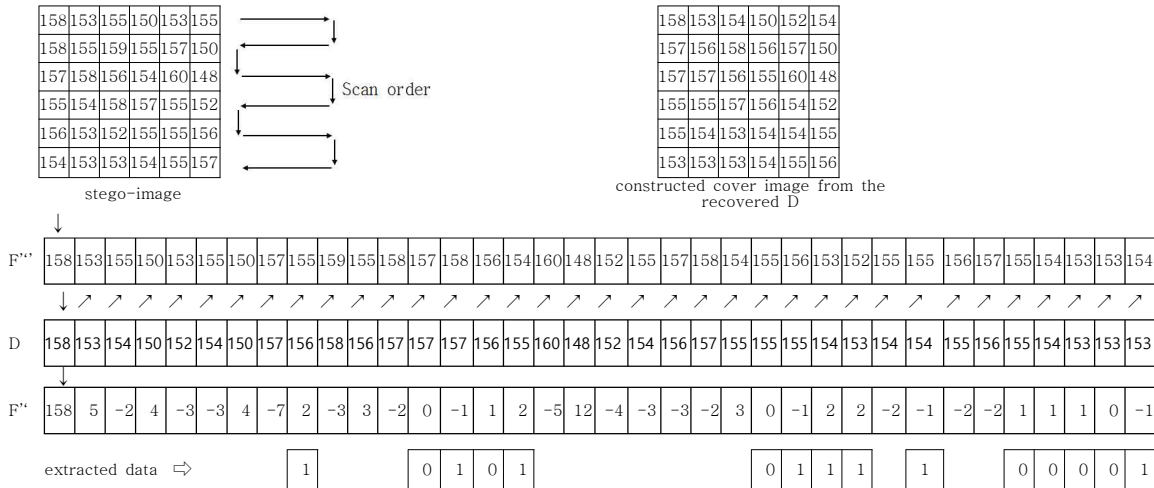


Fig. 6. Data extraction and cover image recovery process of APD

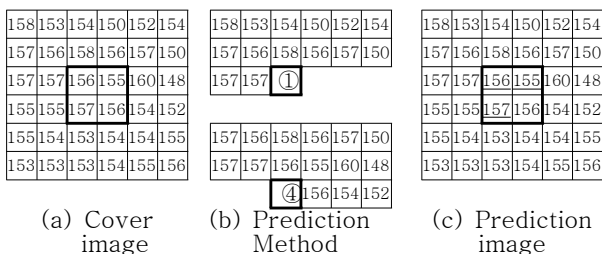


Fig. 7. Prediction image generation

지역성이 높은 것으로 판단하고, 임시 예측 값을 예측 영상의 해당 위치의 예측 픽셀 값으로 사용하여 예측 영상을 생성한다. 그러나 계산된 편차가 일정 값 이상일 경우에는 해당 위치에서의 픽셀 값 변화가 큰 경계영역이라고 판단하여, 임시 예측 값을 사용하지 않고 cover image의 픽셀 값을 복사하여 예측 영상을 생성한다. 예측 영상 P는 식 (11)에 따라 생성된다.

식 (11)에서 C는 cover image를 나타낸다. 그림 7의 ④의 위치에서도 동일한 방법으로 임시 예측 픽셀 값을 계산할 수 있다.

(10)과 같이 계산한다. 계산된 편차가 일정 값(β) 미만일 경우에는 해당 위치의 영상에서 픽셀 값 변화가 완만하여 공간적

$$dev(x,y)=abs(V-P(x-1,y))+abs(V-P(x-1,y-1))+$$

$$\begin{aligned} & \text{abs}(V-P(x,y-1))+\text{abs}(V-P(x+1,y-1))+ \\ & \{ \text{abs}(V-P(x-2,y))+\text{abs}(V-P(x-2,y-1))+ \\ & \text{abs}(V-P(x-2,y-2))+\text{abs}(V-P(x-1,y-2))+ \\ & \text{abs}(V-P(x,y-2))+\text{abs}(V-P(x+1,y-2))+ \\ & \text{abs}(V-P(x+2,y-2))+\text{abs}(V-P(x+2,y-1))\} * \alpha \quad (10) \end{aligned}$$

$$P(x,y) = \begin{cases} V(x,y) & \text{if } \text{dev}(x,y) < \beta \\ C(x,y) & \text{other} \end{cases} \quad (11)$$

제안된 기법에서는 식 (9)~(11)을 적용하여 예측 영상을 생성하기 때문에 예측 영상의 상위 2개 행과 좌·우측 각 2개열의 픽셀 값은 cover image의 픽셀 값을 그대로 사용하고, 나머지 영역이 예측 픽셀 값 계산 가능영역이 된다. 예측 픽셀 값 계산 가능 영역에서는 임시 예측 픽셀 값을 식 (9)에 따라 계산하여 식 (10)~(11)을 적용하여 예측 영상의 예측 픽셀 값으로 사용할지 여부를 결정한다. 제안된 기법의 data embedding 절차는 그림 8과 같다.

Step 1. 예측 영상의 상위 2개 행과 좌우 각 2개열의 픽셀 값은 cover image의 픽셀 값으로 대입하고, 예측 영상의 나머지 영역(예측 픽셀 값 계산 가능 영역)에서의 임시 예측 픽셀 값을 식 (9)에 따라 계산한다. 식(10) ~ (11)에 따라 예측 영상의 픽셀 값을 결정하여 예측 영상 생성

Step 2. cover image의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 inverse s-order순으로 scan하여 픽셀 값들로 구성되는 시퀀스 D 생성

Step 3. 예측 이미지의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 inverse s-order순으로 scan하여 픽셀 값들로 구성되는 시퀀스 DP 생성

Step 4. 시퀀스 DP와 D를 사용하여 식 (12)에 따라 픽셀 값 차이 시퀀스 F 생성

$$F_i = \begin{cases} DP_i & \text{if } i = 0 \\ D_i - DP_i & \text{elseif 예측값 사용} \\ DP_{i-1} - DP_i & \text{otherwise (예측값 미사용)} \end{cases} \quad (12)$$

Step 5. 픽셀 값 차이 시퀀스 F에 대한 히스토그램을 생성하여 PP1, CZP1, PP2, CZP2 선택

Step 6. 식 (2)~(3)에 따라 F를 쉬프트 시켜, 시퀀스 F' 생성

Step 5. 식 (4)에 따라 시퀀스 F' 에 비밀 데이터 시퀀스를 삽입한 시퀀스 F'' 생성

Step 6. D와 F'' 에 대하여 식 (5) 적용하여 시퀀스 F''' 생성

Step 7. F'''를 순차적으로 scan하여 inverse s-order 순으로 stego-image 생성

Fig. 8. The embedding process of the proposed algorithm

그림 8에서 제시된 방법으로 cover image에 데이터 비트를 삽입하면 APD 기법에 비하여 더 많은 데이터들을 삽입할 수 있다. 제안된 기법에서의 data extraction process는 그림 9와 같다.

Step 1. Stego-image의 픽셀 값을 좌측에서 우측으로, 위에서 아래쪽으로 inverse s-order순으로 scan하여 픽셀 값들로 구성되는 시퀀스 F''' 생성

Step 2. D0=F'''0 F''0=D0
i 값을 증가 시키면서, 예측 픽셀 값 계산 가능영역인 지 판단. 예측 픽셀 값 계산 가능영역인 경우에는 예측 값을 계산하여 예측 값이 사용되었는지 혹은 cover image의 픽셀 값이 사용되었는지를 식 (9)~(10)을 사용하여 판단하여 extraction mode 결정.

Mode 1: 예측 값이 사용된 경우. 식 (13)~(14)를 사용하여 Di값을 복원하고, 식 (7)을 사용하여 F''i를 생성. Pi 는 i번째 위치에서의 예측 값임
 $D_i = P_i + cf$ (13)

$$cf = \begin{cases} D_{i-1} - F'''_{i-1} - sd_i & \text{if } D_{i-1} - F'''_{i-1} \in (PP_j, CZP_j] \\ D_{i-1} - F'''_{i-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

Mode 2: 이전 위치에서 예측 값이 사용되었으나, 현재 위치에서는 예측 값이 사용되지 아니한 경우
식 (15)를 사용하여 D값을 복원하고, 식 (7)을 사용하여 F''i를 생성. cf(correction factor)는 식 (14)에 의해서 계산된 값임
 $D_i = P_i - cf$ (15)

Mode 3: 영상의 상위 2개 행의 경우($i \leq \text{imagewidth} * 2$) 혹은 이전 위치와 현재 위치 모두에서 예측 값이 사용되지 아니한 경우.
그림 4의 APD기법에 따라서 Di와 F''i를 생성

Step 3. F''i 에 대하여 식 (8)을 적용하여 stego-image에 삽입되어 있는 데이터 추출

Step 4. 복원된 시퀀스 D를 scan하여 inverse s-order 순으로 cover image 생성

Fig. 9. Data extraction process of the proposed algorithm

제안된 기법의 data embedding process와 data extraction process의 예제가 그림 10과 그림 11에 제시 되어 있다. 그림 10과 그림 11은 식 (11)에서 임계치(β)를 12로 하여 생성된 예측 영상의 예를 보이고 있다. 그림 7의 ①위치에서 ④위치까지 시계방향으로 각 위치에서의 임시 예측 값을 계산하면 각각 156.0, 155.4, 155.5, 156.3이다. 그리고 계산된 임시 예측 값에 대하여 식 (10)을 적용하여 편차를 구하면 각각 9.0, 11.8, 13.9, 5.8이다. 식 (11)에서의 임계치(β)를 12로 두면, 그림 7과 그림 10에서와 같이 ①, ②, ④위치에서의 예측 값은 156, 155, 156이 되고, ③ 위치에서의 픽셀 값은 cover image의 픽셀 값 156이 사용된다. 그림 10에서 보는 바와 같이 제안기법을 적용하여 픽셀 값 차분 시퀀스 F를 생성하면 PP1=0, PP2=2이며 $h(P_1)=9$, $h(P_2)=8$ 이다. 따라서 cover image에 삽입되는 최대 데이터 비트수는 17비트이며, APD기법에 비하여 2비트 증가하게 된다. 임계치(β)의 값을 15로 두면 ③위치에서도 예측 값이 사용되어 $h(P_1)=10$, $h(P_2)=8$ 이 되어 삽입되는 비트 수가 1비트 더 증가 하게 된다.

제안된 기법에서 식 (11)에서의 임계치(β)를 0으로 두면 예측 영상의 모든 픽셀은 cover image의 픽셀 값을 갖게 되어 APD기법과 동일하게 된다.

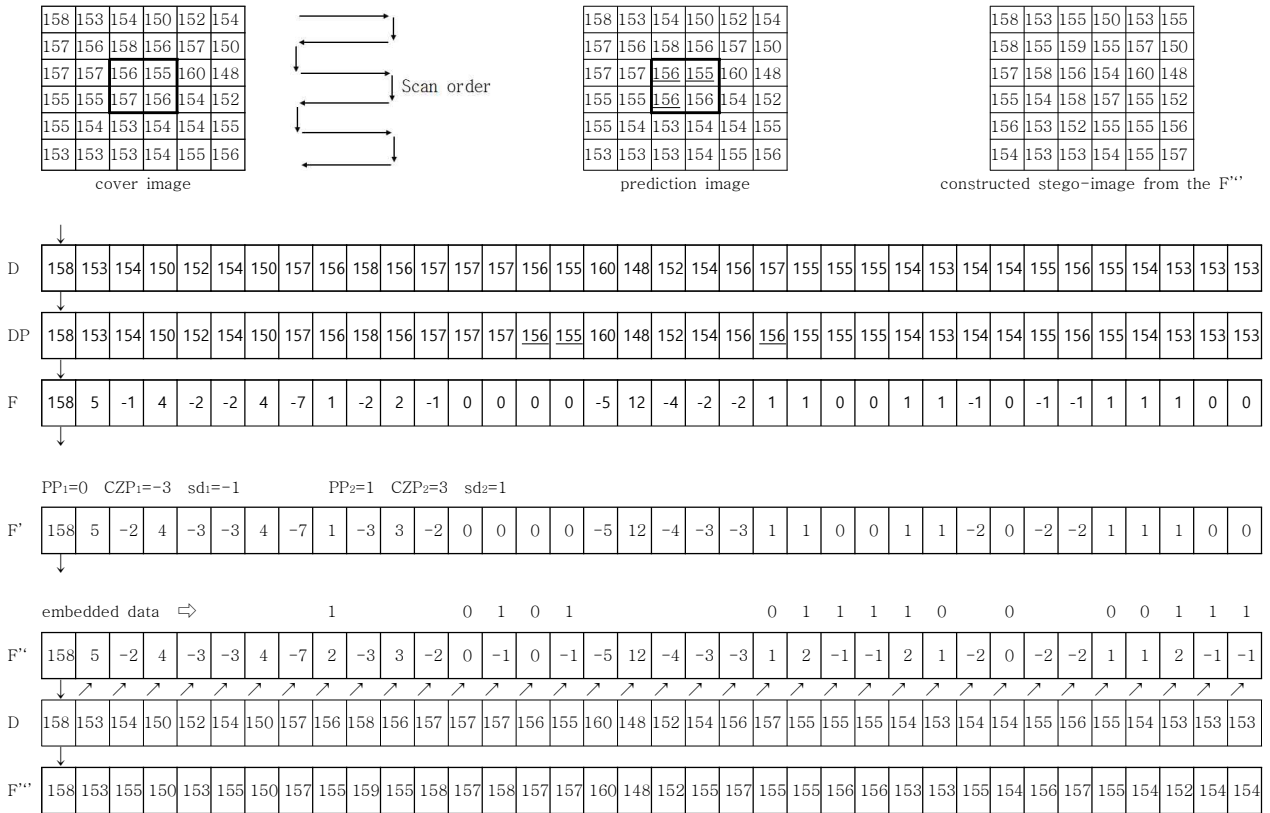


Fig. 10. Data embedding process of APDP

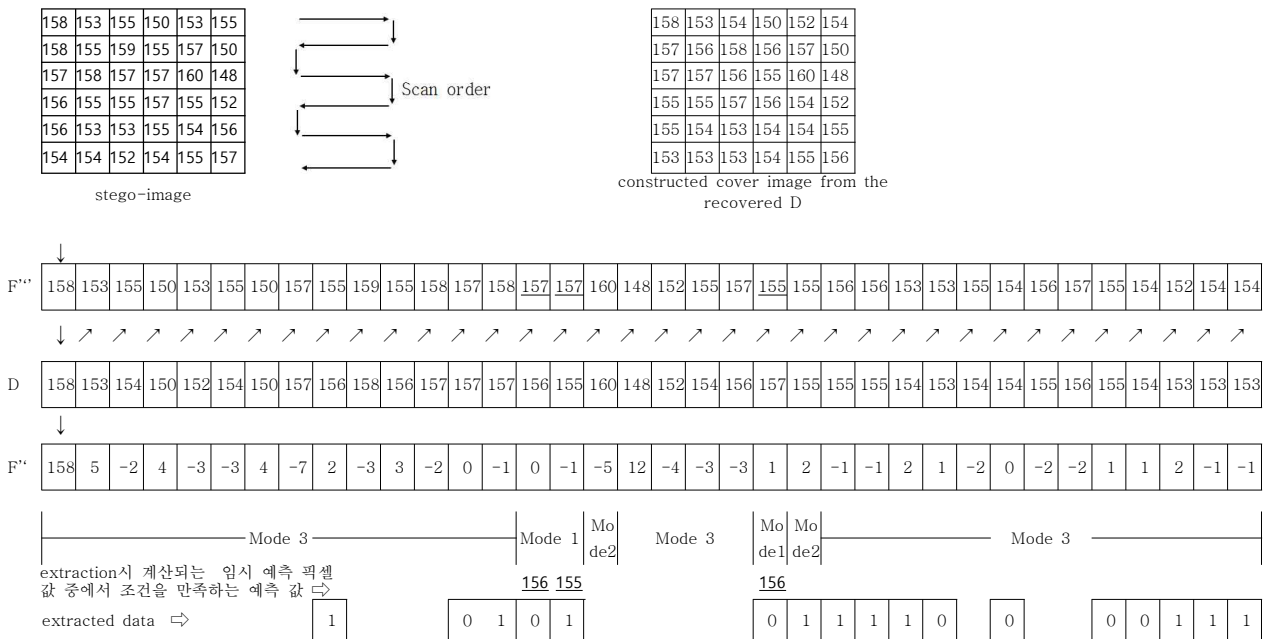


Fig. 11. Data extraction and cover image recovery process of APDP

그림 10과 그림 11에서 보는 바와 같이 제안기법을 적용하여 군사, 의학 등의 응용분야에 효과적으로 활용될 수 있다. 여 cover image에 데이터를 삽입하면 APD기법에 비하여 더 많은 데이터를 삽입할 수 있으며, stego-image로부터 원본 데이터와 원본 cover image를 손실 없이 완벽하게 복원할 수 있

IV. Experimental Results

제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 512x512 gray scale 영상인 Lenna, sail-boat, Barbara, ship을 cover image로 사용하여 실험을 수행하였다. Cover image에 삽입한 데이터는 본 논문의 abstract를 ASCII코드로 변환하여 사용하였다. 그림 12~15는 각각 Lenna, sail-boat, Barbara, ship에 대한 실험결과를 보여주고 있다.

제안된 기법에서 사용된 수식 (11)에서의 임계치(β)를 적용하여 실험을 수행한 경우를 APDP(β)로 표기하였다. 표 1에는 APD기법과 제안기법을 적용하여 각 cover image에 대하여 실험을 수행한 결과가 나타나 있다. 식 (11)에서의 임계치(β)값을 0으로 하면 예측 영상은 모두 cover image의 픽셀 값을 갖게 되어 시퀀스 DP와 시퀀스 D가 동일하게 되어 제안기법은 APD기법과 동일하게 동작하게 된다. 임계치(β)값을 증가 시킬수록 예측을 수행하는 횟수가 증가하게 되고 예측 영상에 예측 픽셀 값이 사용되어 시퀀스 DP에는 보다 많은 예측 값들이 포함되게 된다. 따라서 예측 픽셀 값이 적용된 경우의 F_i 값은 식 (12)에서 보는 바와 같이 cover image의 픽셀 값에서 예측 값을 뺀($D_i - DP_i$), 매우 적은 값이 된다. 표 1의 실험결과에서 보는 바와 같이 평균 예측 오차가 매우 적기 때문에 F_i 값은 매우 적은 값을 갖게 되어 픽셀 값 차분 시퀀스 F에 대한 히스토그램을 생성하면 peak point에서의 빈도수가 증가하게 되어 cover image에 삽입되는 데이터 비트수가 증가 하게 된다. 그림 12~15에서 보는 바와 같이 임계치(β)를 0~24까지 변화시켰을 때의 stego-image의 PSNR값은 감소하지만, stego-image는 데이터가 은닉되어 있는지 시각적으로 분간하기 어려운 정도로 원본 cover image와 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 제안기법을 적용하여 cover image에 데이터를 은닉하면 stego-image의 화질은 cover image와 시각적으로 구별이 거의 어려운 정도로 유지되면서 기존의 APD기법에 비하여 삽입되는 비트수가 최대 22.0% 증가 하였다.

제안기법을 적용하면 다양한 레벨로 cover image에 데이터를 은닉 할 수 있고, stego-image로부터 원본 데이터와 원본 cover image를 손실 없이 완벽하게 복원할 수 있어 의료, 국방 등의 응용분야에 유용하게 사용될 수 있다.

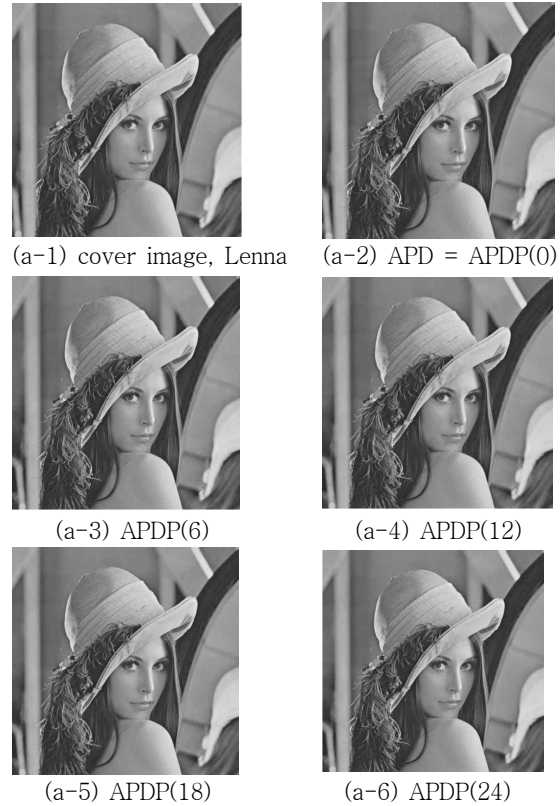
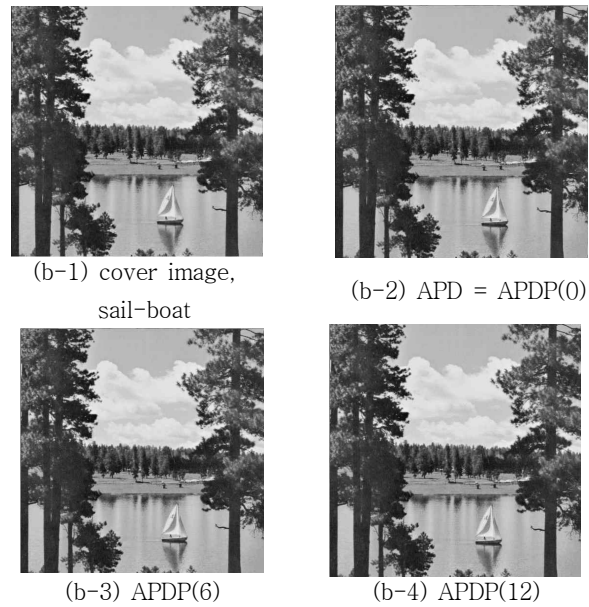
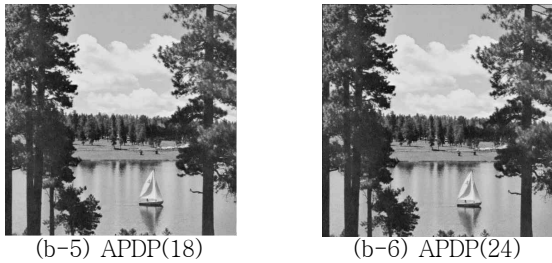


Fig. 12. Lenna image & stego-images(2~6)





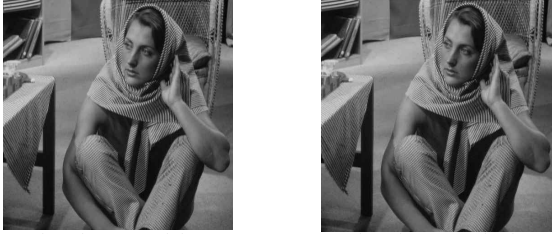
(b-5) APDP(18) (b-6) APDP(24)
Fig. 13. sail-boat image & stego-images(2~6)



(d-5) APDP(18) (d-6) APDP(24)
Fig. 15. ship image & stego-images(2~6)



(c-1) cover image, Barbara (c-2) APD = APDP(0)



(c-3) APDP(6) (c-4) APDP(12)



(c-5) APDP(18) (c-6) APDP(24)

Fig. 14. Barbara image & stego-images(2~6)



(d-1) cover image, ship (d-2) APD = APDP(0)



(d-3) APDP(6) (d-4) APDP(12)

Table 1. The experimental results of the proposed algorithm

Image	기법	은닉 비트수	PSNR (dB)	예측 적중률 (%)	평균 예측 오차	은닉 비트수 증가율(%)
Lenna	APD	48424	48.60	x	x	0
	APDP(0)	48424	48.560	x	x	0
	APDP(6)	49046	46.21	24.33	1.39	1.3
	APDP(8)	50297	42.66	21.42	1.54	3.9
	APDP(10)	52325	39.88	20.11	1.63	8.1
	APDP(12)	54248	38.05	19.23	1.71	12.0
	APDP(14)	55657	36.83	18.53	1.78	14.9
	APDP(16)	56523	35.97	17.96	1.85	16.7
	APDP(18)	57190	35.32	17.53	1.91	18.1
	APDP(20)	57660	34.76	17.12	1.97	19.1
sail-boat	APD	30880	48.42	x	x	0
	APDP(0)	30880	48.42	x	x	0
	APDP(6)	31355	47.01	29.80	1.08	1.5
	APDP(8)	32006	45.19	26.64	1.29	3.7
	APDP(10)	32754	43.03	22.99	1.54	6.1
	APDP(12)	33261	40.95	20.49	1.77	7.7
	APDP(14)	33948	39.16	18.82	1.96	9.9
	APDP(16)	34511	37.57	17.37	2.16	11.8
	APDP(18)	34867	36.14	16.11	2.36	12.9
	APDP(20)	35250	34.84	15.04	2.57	14.2
Barbara	APD	33113	48.44	x	x	0
	APDP(0)	33113	48.44	x	x	0
	APDP(6)	33456	46.91	18.80	1.62	1.0
	APDP(8)	34604	43.90	19.15	1.65	4.5
	APDP(10)	36116	41.15	18.39	1.73	9.1
	APDP(12)	37341	39.22	17.54	1.82	12.8
	APDP(14)	38143	37.96	17.01	1.90	15.2
	APDP(16)	38662	36.98	16.41	1.98	16.8
	APDP(18)	39103	36.27	15.90	2.06	18.1
	APDP(20)	39532	35.72	15.59	2.12	19.4
ship	APD	46430	48.58	x	x	0
	APDP(0)	46430	48.58	x	x	0
	APDP(6)	47984	44.96	22.89	1.37	3.4
	APDP(8)	51022	41.42	22.06	1.43	9.9
	APDP(10)	53621	39.26	21.19	1.49	15.5
	APDP(12)	55281	37.99	20.68	1.56	19.1
	APDP(14)	56026	37.15	20.08	1.62	20.7
	APDP(16)	56361	36.52	19.59	1.69	21.4
	APDP(18)	56601	35.94	19.14	1.76	21.9
	APDP(20)	56637	35.44	18.73	1.83	22.0
ship	APDP(22)	56597	34.95	18.35	1.91	21.9
	APDP(24)	56582	34.42	17.96	2.00	21.9

V. Conclusions

본 논문에서는 cover image에 데이터를 은닉하는 가역적 데이터 은닉기법을 제안하였다. 제안된 기법은 다양한 레벨에서의 데이터 은닉이 가능하고, 제안기법을 적용하여 cover image에 데이터를 은닉하면 stego-image의 시각적 화질은 cover image와 구별이 거의 어려울 정도로 높게 유지되면서 기존의 APD기법에 비하여 삽입되는 비트수가 최대 22.0% 증가 하였다. 제안기법은 cover image에 보다 많은 데이터를 효율적으로 은닉하고, stego-image로부터 원본 데이터와 원본 cover image를 손실 없이 완벽하게 복원할 수 있어 의료, 국방 등의 응용분야에 유용하게 사용될 수 있다. 영상의 지역성을 보다 효과적으로 가역 데이터 은닉기법에 이용하기 위하여, 향후 영상의 곡면 특성을 이용한 가역 데이터 은닉기법에 관한 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCE

- [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, Y. P. Hsieh, and C. Y. Lin, "Lossless data embedding with high embedding capacity based on declustering for VQ-compressed images," *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, Vol. 12, No. 3, pp. 341-349, Oct. 2007.
- [7] C. C. Chang, C. C. Lin, and Y. S. Hu, "An SVD oriented watermark embedding scheme with high qualities for the restored images," *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, Vol. 3, No. 3, pp. 609-620, June 2007.
- [8] 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.
- [9] M. Fallahpour and M.H. Sedaaghi, "High capacity lossless data hiding based on histogram modification," *IEICE Electronics Express*, Vo. 4, No. 7, pp. 205-210, April 2007.
- [10] 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.
- [11] K. Solanki, N. Jacobsen, U. Madhow, B. S. Manjunath, and S. Chandrasekaran, "Robust image-adaptive data hiding using erasure and error correction," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 13, No. 12, pp. 1627-1639, Dec. 2004.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] E. Smirni, and G. Ciardo, "Workload-Aware Load pp. 219-232, March 2005.
- [16] kdhong, "An Efficient Dynamic Workload Balancing Strategy," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 1, pp. 1-10, Nov. 2010.
- [17] kdhong,, "C Programming Language" Korea-Press, pp.100-120, 1991.
- [18] Q. Deng, Y. Luo, and J. Ge, "Dual threshold based unsupervised face image clustering," *Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation*, pp. 436-439, 2010.
- [19] SIMGRID Project, <http://simgrid.gforge.inria.fr>

Authors



Soo-Mok Jung received the B.S., M.S. degrees in Electronics Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 1984 and 1986 respectively. He received the Ph.D. degree in Computer Science and Engineering from Korea University, 2002.

Dr. Jung joined the faculty of the Department of computer information at Sahmyook College, Seoul, Korea, in 1991. He is currently a Professor in the Department of Computer Science & Engineering, Sahmyook University. He is interested in image processing and parallel processing.