

논문 2011-48SP-2-4

# 차분 영상 히스토그램 수정 기반의 가역 데이터 은닉 기법

## ( Reversible Data Hiding Based on the Histogram Modification of Difference Image )

유향미\*, 이상광\*\*, 서재원\*\*\*

( Hyang-Mi Yoo, Sang-Kwang Lee, and Jae-Won Suh )

### 요약

가역 데이터 은닉 기법은 영상에 데이터를 삽입 후, 영상에서 삽입된 데이터를 추출한 후에 원본 영상의 복원이 완벽하게 가능한 기법을 말하며 최근에 많은 관심을 받고 있는 분야이다. 이러한 복원 가능한 데이터 은닉 기법 중 기존의 히스토그램을 이용한 기법들은 히스토그램 수정 때문에 언더플로우와 오버플로우를 발생시킴으로써 데이터가 숨겨진 영상의 화질이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 언더플로우와 오버플로우가 발생하는 위치를 표시하는 로케이션 맵 정보를 영상에 추가로 삽입하여 해결하는 새로운 가역 데이터 은닉 기법을 제안한다. 또한 삽입되는 데이터의 양을 증가시키기 위해서 멀티 레벨 데이터 은닉 기법을 알고리즘에 적용하였다. 실험결과 제안하는 알고리즘은 PSNR, 데이터 삽입량, 추가적인 데이터의 크기 면에서 우수한 성능을 보였다.

### Abstract

Reversible data hiding, which can recover the original image without any distortion after the extraction of the hidden data, has drawn considerable attention in recent years. However, underflow and overflow problems have occurred occasionally in the embedded image. To overcome these problems, we propose a new reversible data hiding algorithm which embeds a compressed location map used to identify these underflow and overflow points. In addition, the proposed algorithm allows for multilevel data hiding to increase the hiding capacity. The simulation results demonstrate that the proposed algorithm generates good performances in the PSNR, the embedding capacity, and the size of side information.

**Keywords :** reversible data hiding, difference image, histogram modification, location map, underflow and overflow.

## I. 서론

영상을 위한 데이터 은닉(Data hiding) 기법은 디지털 영상에 비가시적으로 비밀 데이터를 삽입하는 기법을 말하며, 어떤 데이터를 삽입하느냐에 따라 영상을

보호할 수 있는 목적과 비밀 데이터를 은닉하여 전송하는 목적으로 사용될 수 있다. 특히 디지털 영상은 불법적인 복사에 의해 손쉽게 빠르게 배포될 수 있으며 이에 따른 저작권 침해 문제는 심각하다. 따라서 영상에 특별한 데이터를 숨김으로서 저작권을 보호할 수 있는 데이터 은닉 기법이 좋은 해결책이 될 수 있다. 데이터 은닉 기법은 디지털 워터마킹 기법으로 사용될 수 있는데 저작권을 보호할 수 있는 소유권자의 정보나 로고 등을 추출되기 어렵고 쉽게 깰 수 없도록 영상에 삽입되는 강한 워터마킹 기법으로 사용할 수 있다<sup>[1~2]</sup>. 반면에 영상의 특성 관련 데이터를 깨지기 쉽게 원본 영상에 삽입하여 수신된 영상의 무결성을 확인하는 연성 워터마킹 기법으로도 사용할 수 있다<sup>[3~4]</sup>. 이러한 데이

\* 학생회원, \*\*\* 정회원-교신저자,  
충북대학교 전자공학과

(Dept. of Electronic Engineering, Chungbuk National University.)

\*\* 정회원, 한국전자통신연구원

(Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI))

※ 이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

접수일자: 2010년6월9일, 수정완료일: 2010년10월4일

터 은닉 기법은 데이터 삽입으로 인해 필연적으로 영상의 왜곡을 수반한다. 그러나 군사용과 의료용 등과 같이 민감한 영상의 응용 분야에서는 단 한 화소의 화소값 변화도 허용되지 않는다. 이러한 분야에 적용 가능한 가역 데이터 은닉 기법들이 발표되었다<sup>[5~15]</sup>. 가역 데이터 은닉 기법에는 몇 가지의 대표적인 알고리즘이 있다. 먼저, Fridrich<sup>[5]</sup>는 데이터 은닉 공간을 만들기 위해 영상의 화소값을 비트 플랜으로 나타낸 후, LSB부터 검사를 하면서 무손실 압축을 하여 삽입할 공간을 찾은 후 데이터를 삽입한다. Tian<sup>[6]</sup>은 특정 화소 쌍을 선택하여 화소 쌍의 차분 값을 확장시킨 후 각 화소 쌍에 한 비트씩 데이터를 은닉하는 방법을 제안하였다. Alattar<sup>[7~8]</sup>, Kim<sup>[9]</sup>, Kim<sup>[10]</sup>는 Tian<sup>[6]</sup>의 화소쌍을 이용한 화소 차분값 확장 기법을 적용한 방법을 제안하였다. 최근에는 히스토그램 수정 기반의 가역 데이터 은닉 기법이 꾸준히 발표되고 있다<sup>[11~15]</sup>. Ni<sup>[11~12]</sup>는 영상 히스토그램의 최대값과 최소값의 쌍을 이용해서 데이터를 은닉하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 영상의 복원을 위해 히스토그램의 최대값을 수신부 쪽에 따로 부가 데이터로 보내주어야 하는 단점이 있다. 이외에도 삽입량을 늘리고 결과 영상의 PSNR을 좋게 하기 위한 히스토그램 수정을 이용한 많은 다른 방법들이 제안되었다. 그 중 Lin<sup>[13]</sup>은 분할 영상을 이용한 차분 영상 히스토그램 수정 알고리즘을 제안하였다. 이 기법은 각 블록 영상의 차분 히스토그램 최대값에 데이터를 삽입하는 기법이다. 또한 데이터 삽입 절차를 반복적으로 실행하는 멀티 레벨 데이터 은닉 기법을 제안하였다. 이 방법은 반복적 은닉을 통해 더 많은 데이터 삽입량을 얻을 수 있는 장점이 있지만 복원 과정에서 필요한 각 블록들의 히스토그램 최대값들을 부가 데이터로 수신부에 보내야 하는 단점이 있다.

이러한 히스토그램 수정을 이용한 가역 데이터 은닉 기법이 데이터를 숨기기 위한 충분한 공간을 만들 수 있다 하더라도, 데이터가 은닉된 영상에는 히스토그램 수정 때문에 언더플로우와 오버플로우의 문제가 발생되고 화질저하의 문제가 유발된다. 이러한 문제점은 멀티 레벨 데이터 은닉 기법을 적용할 때 더 심각해진다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복할 수 있는 새로운 가역 데이터 은닉 기법 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 기술 구조는 아래와 같다. II장과 III장에서는 본 논문에서 제안하는 복원 가능한 데이터 은닉 알고리즘의 삽입과 추출과정에 대해서 설명하고 IV장에서는 데이터

삽입량, PSNR, 부가 데이터의 크기 등의 실험 결과를 다른 가역 데이터 은닉 기법 알고리즘과 비교하였다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안하는 데이터 은닉 알고리즘

본 논문에서는 삽입하는 데이터량을 늘리기 위해서 영상의 짝수라인과 홀수라인을 이용한 차분 영상의 히스토그램을 이용하였다. 히스토그램의 최대 빈도수와 두 번째로 많은 빈도수를 갖는 화소값을 이용해서 데이터를 삽입하였다. 데이터의 삽입은 히스토그램의 수정(좌우 변이)으로 가능한데, 이로 인한 언더플로우와 오버플로우가 발생할 수 있다. 이런 위치를 표기하는 로케이션 맵을 이진 이미지 압축 기술인 JBIG(Joint Bi-level Image coding Group)으로 압축하여 삽입하는 데이터에 포함하여 은닉하였다.

### 1. 로케이션 맵

데이터 삽입의 첫 번째 단계는 영상에 언더플로우와 오버플로우가 발생할 수 있는 화소값(0, 255)들이 존재하는지 확인하는 것이다. 언더플로우와 오버플로우의 문제는 0과 255의 화소값들이 원본 영상에 존재할 때 히스토그램의 좌우 변이 과정에서 0의 화소값이 255의 화소값으로 255의 화소값이 0의 화소값으로 변화하여 결과 영상의 화질을 떨어뜨리는 것을 말한다. 그림 1은 언더플로우와 오버플로우의 문제점에 의한 결과 영상의

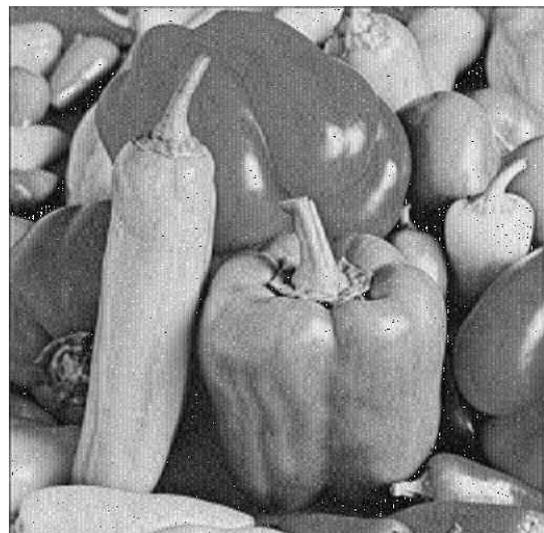
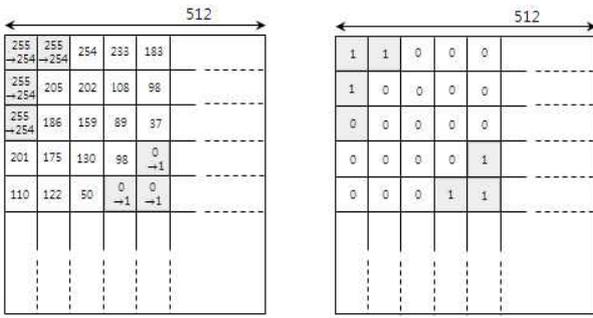
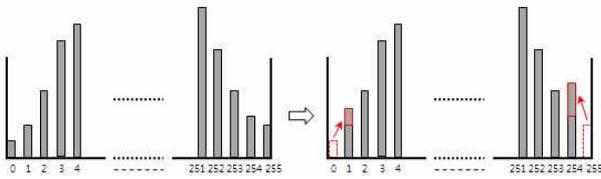


그림 1. 언더플로우와 오버플로우의 문제점  
Fig. 1. Problems of underflow and overflow.



(a) 영상의 화소값 수정과 로케이션 맵 생성



(b) 원본 영상의 히스토그램과 수정된 영상의 히스토그램



(c) 원본 영상과 로케이션 맵

그림 2. 로케이션 맵의 생성

Fig. 2. Creation of the location map.

예를 보인다.

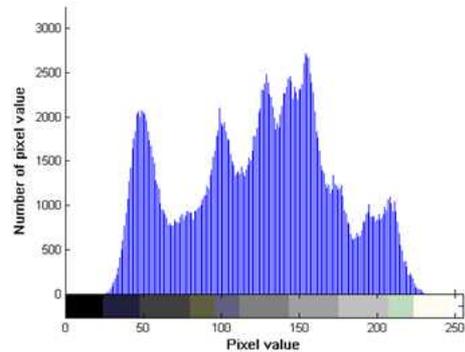
이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 0과 255의 화소값들의 위치들을 표시하는 로케이션 맵을 생성한다. 로케이션 맵은 그림 2(a)와 같이 영상을 화소별로 스캔하면서 0과 255의 화소값을 만나면 1을 할당하고 나머지 화소값들을 만나면 0을 할당하여 원본 영상 크기의 이진 영상을 얻는다. 그 후, 0과 255의 화소값들을 1과 254의 화소값들로 각각 수정한다. 이것을 히스토그램으로 보면 그림 2(b)와 같다. 그림 2(c)는 실험 영상과 로케이션 맵을 보인다. 로케이션 맵은 무손실 압축 기법인 JBIG 압축 방식에 의해 압축되어 삽입되는 데이터와 함께 영상에 삽입된다. 이러한 로케이션 맵 정보를 사용함으로써 언더플로우와 오버플로우를 미연에 방지할 수 있고, 데이터가 삽입된 영상에서 데이터를 추출한 후에는 원본영상을 완벽하게 복원할 수 있다.

## 2. 차분 영상과 히스토그램 수정

데이터를 삽입하기 위해 히스토그램에서 빈 화소값을



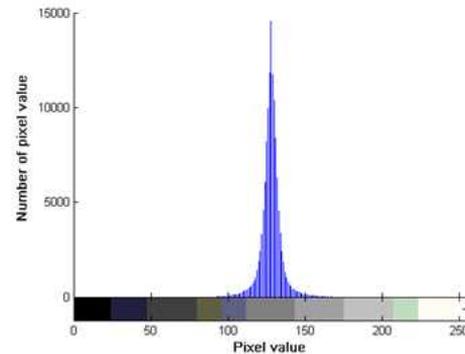
(a) Lena 원본 영상



(b) 원본 영상의 히스토그램



(c) 차분 영상 + 128



(d) “차분 영상 + 128”영상의 히스토그램

그림 3. Lena영상의 특성

Fig. 3. The characteristics of “Lena”.

만들어야 하는데 히스토그램의 좌우 변이를 이용한다. 데이터 삽입량을 증가시키기 위해서는 각 히스토그램의 빈도수가 많은 것이 좋다. 본 논문에서는 많은 양의 데이터를 삽입하기 위해 차분 영상의 히스토그램을 이용하였다. 그림 3은 이해를 돕기 위한 영상 예제이다. 그림 3(a)는 lena영상이고, 그림 3(b)는 lena 영상의 히스토그램이다. 본 논문에서는 히스토그램의 최대값(PP: Peak Point)은 히스토그램에서 가장 많은 빈도수를 갖는 화소값으로 정의하였다. 그림 3(b)에서 PP가 154일 때 해당 빈도수는 2729이다. 그림 3(c)는 (1)식에 의한 영상의 짝수라인과 홀수라인을 이용한 차분 영상이며, 표현을 위해 각 차분 영상의 모든 화소값들에 128값을 더하였다.

$$D(i, j) = I(i, 2j) - I(i, 2j + 1) \quad (1)$$

여기서  $I(i, j)$ 는 그레이 스케일 이미지,  $I(i, j)$ 와  $I(i, 2j+1)$ 은 짝수라인과 홀수라인을 나타낸다. 차분 영상 히스토그램은 그림 3(d)와 같이 0을 중심으로 몰려 있는 것을 볼 수 있다. 차분 영상의 히스토그램에서 PP값은 0이며 PP에서 빈도수는 14594이다. 이는 그림 3(b)보다 무려 5배 이상이다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 3(d)와 같은 차분영상의 히스토그램에서 빈도수가 가장 많은 두 개의 값을 선택한 후, 왼쪽에서부터  $PP_1$ ,  $PP_2$ 로 정의한다. 데이터를 삽입하기 위해 먼저 히스토그램의 변이를 수행한다. 즉, 차분 영상을 스캔하면서 “ $PP_1$ ”보다 작은 화소값을 만나면 실험 영상의 해당 위치 홀수 라인 화소값에서 1을 뺀다. 또한 차분 영상은 스캔 중 “ $PP_2$ ”보다 큰 화소값을 만나면 실험 영상의 해당 위치 홀수라인의 화소값에 1을 더한다. 이제 (2)식과 같이 짝수라인에서 수정된 홀수라인 화소값들을 뺀 수정된 차분영상의 히스토그램은 그림 4(a)와 같다.

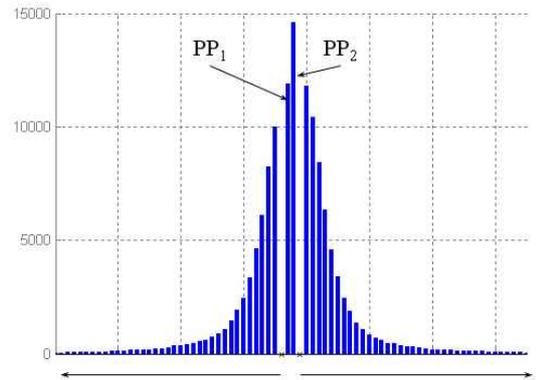
$$D'(i, j) = I(i, 2j) - I'(i, 2j + 1) \quad (2)$$

여기서 수정된 홀수라인  $I'(i, 2j+1)$ 는 (3)으로 표현할 수 있다.

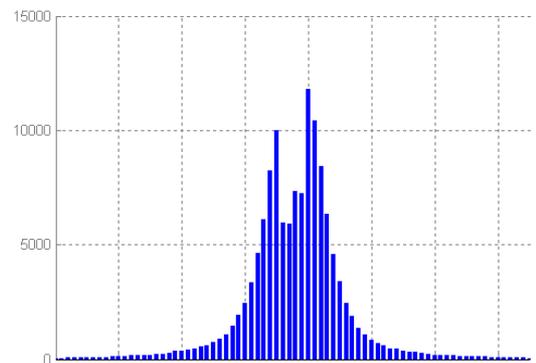
$$I'(i, 2j+1) = \begin{cases} I(i, 2j+1) - 1 & \text{if } D(i, j) \leq PP_1 - 1 \\ I(i, 2j+1) + 1 & \text{if } D(i, j) \geq PP_2 + 1 \\ I(i, 2j+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

### 3. 데이터 삽입

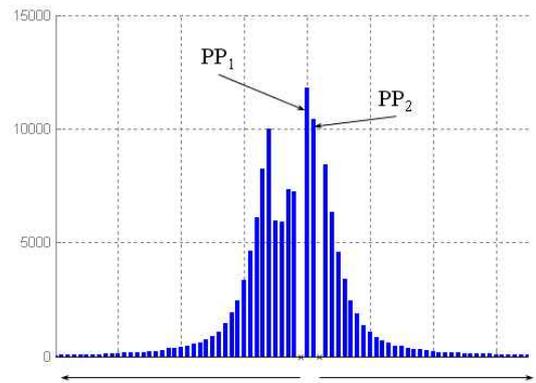
실험 영상에 삽입되는 데이터  $W(k)$ 는 히스토그램



(a) 차분 영상의 히스토그램 변이



(b) 데이터가 삽입된 후 차분 영상의 히스토그램



(c) 두 번째 레벨에서의 차분 영상 히스토그램 변이 (멀티 레벨 데이터 기법을 적용할 때)

그림 4. 히스토그램 수정

Fig. 4. The histogram modification.

변이가 수행된 차분 영상  $D(i, j)$ 에 삽입한다. 데이터를 삽입하기 위해서는 히스토그램 변이 처리과정과 마찬가지로  $D(i, j)$ 을 스캔하면서 “ $PP_1$ ” 화소값과 “ $PP_2$ ” 화소값을 만날 때마다 삽입되는 데이터를 순차적으로 한 비트씩 삽입한다. 스캔 중 “ $PP_1$ ”의 화소값을 만날 때마다 삽입할 데이터 비트값을 확인한다. 만약 “1”이면 수정된 홀수라인의 화소값  $I(i, 2j+1)$ 의 값에서 1을

빼고, 삽입할 데이터 비트값이 “0”이면  $I(i, 2j+1)$ 의 값을 그대로 둔다. 또한 스캔 중 “PP<sub>2</sub>” 화소값을 만나도 삽입할 데이터 비트값을 확인한다. 그 비트값이 “1”이라면  $I(i, 2j+1)$ 의 값에 1을 더하고, 만약 “0”의 비트값이면  $I(i, 2j+1)$ 의 값을 그대로 둔다. 데이터가 숨겨진 영상  $I_w(i, j)$ 의 짝수라인 화소값  $I_w(i, 2j)$ 와 데이터가 삽입된 홀수라인의 화소값인  $I_w(i, 2j+1)$ 은 아래와 같이 표현한다.

$$I_w(i, 2j) = I(i, 2j) \tag{4}$$

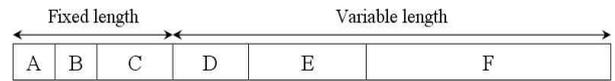
$$I_w(i, 2j+1) = \begin{cases} I(i, 2j+1) - 1 & \text{if } W=1, D(i, j) = PP_1 \\ I(i, 2j+1) + 1 & \text{if } W=1, D(i, j) = PP_2 \\ I(i, 2j+1) & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

그림 4의 (b)는 데이터가 삽입된 차분 영상의 차분 히스토그램의 모습이다.

#### 4. 데이터 삽입량 확장 및 삽입정보의 구조

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 삽입되는 데이터의 양을 증가시키기 위해 동일 알고리즘을 반복해서 적용하는 멀티 레벨 데이터 은닉기법<sup>[9]</sup>을 사용하였다. 멀티 레벨 데이터 은닉 기법은 많은 데이터량을 삽입할 수 있지만 데이터를 추출하는 과정에서 몇 회가 반복적으로 데이터가 삽입이 되었는지를 나타내는 부가 데이터가 필요하다. 본 논문에서는 삽입되는 데이터의 가장 첫 비트를 멀티 레벨 데이터 은닉 기법 플래그로 사용하여 부가 데이터를 따로 제공해야 하는 문제점을 해결하였다. 데이터 삽입을 진행할 때마다 삽입정보의 플래그를 0으로 셋팅하고 마지막 삽입 일 때 1로 셋팅한다. 따라서 실험 영상에 반복적으로 삽입된 횟수를 부가 데이터로 따로 갖고 있을 필요가 없다. 그림 4의 (c)는 멀티 레벨 데이터 은닉 기법을 적용하였을 때 두 번째 레벨에서의 PP<sub>1</sub>과 PP<sub>2</sub>의 선택과 히스토그램 변이 수행 결과이다. 두 번째 레벨에서는 영상의 짝수라인에 데이터를 삽입한다. 결과영상의 화질을 높이기 위해 영상에 데이터를 삽입할 때 홀수라인과 짝수라인을 번갈아 가면서 사용한다.

영상에 삽입되는 데이터의 전체적인 구조는 그림 5와 같으며, 이 구조는 실험 영상 특성에 따라 달라진다. 즉, 히스토그램 변이를 수행할 때 경계 영역이 되는 0과 255의 화소값이 존재한다면, 삽입되는 데이터의 구조는 “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”로 구성되어진다. 만



- A : 1bit flag multilevel data hiding
- B : 1bit flag odd/even line modification
- C : JBIG file size (1byte)
- D : JBIG file size indicator (variable)
- E : JBIG data (variable)
- F : Pure message (variable)

그림 5. 삽입되는 데이터의 구조

Fig. 5. The structure of the embedded message.

약 그렇지 않을 경우 데이터의 구조는 “A”, “B”, “C”, “F”로 이루어진다. 각 부분의 의미하는 내용은 아래에서 설명한다.

“A”: 멀티 레벨 데이터 은닉 기법b을 위한 플래그로서 0값으로 사용하면 다음 레벨에서도 계속 데이터를 삽입하겠다는 것을 의미하며, 1값으로 사용하면 현재 레벨을 마지막으로 삽입을 끝내겠다는 것을 의미한다.

“B”: 1bit 플래그로서 짝수라인과 홀수라인 중 어느 라인의 화소값들이 수정되었는지를 나타낸다. 이 플래그의 값이 0이면 현재 레벨에서는 홀수라인의 화소값들이 수정되었으며, 만약 1의 값을 갖는다면 짝수라인의 화소값들이 수정된 것을 말한다.

“C”: 1byte의 크기를 갖으며 JBIG으로 압축된 로케이션 맵 데이터의 존재 유무를 나타낸다. 만약 이 값이 0이면 데이터 삽입 과정에서 언더플로우와 오버플로우가 발생하지 않는 것을 말하며 의미하며 “D”와 “E”는 생략된다. 만약 “C” 값이 1이면 “D”의 크기는 1byte가 되고 그 값은 JBIG 데이터의 실제 크기를 나타낸다. 또한 “C”값이 2라면 “D”는 2byte의 크기를 갖으며 256~511 byte 크기의 JBIG 데이터 사이즈를 나타낼 수 있다. 예를 들어 JBIG으로 압축된 로케이션 맵의 크기가 260byte라면 “C”의 값은 00000010이고 “D”의 값은 111111100000101이다.

“D”: 위에 보인 것과 같이 JBIG 데이터 크기 값이다.

“E”: JBIG으로 압축된 로케이션 맵 데이터이다.

“F”: 실험 영상에 삽입하고자 하는 순수한 데이터 데이터의 영역이다.

### 5. 데이터 삽입 절차

본 논문에서 제안하는 데이터 삽입 과정 알고리즘은 아래의 5단계 처리 과정을 갖는다. 그림 6에 전체적인 데이터 삽입 순서도를 나타내었다.

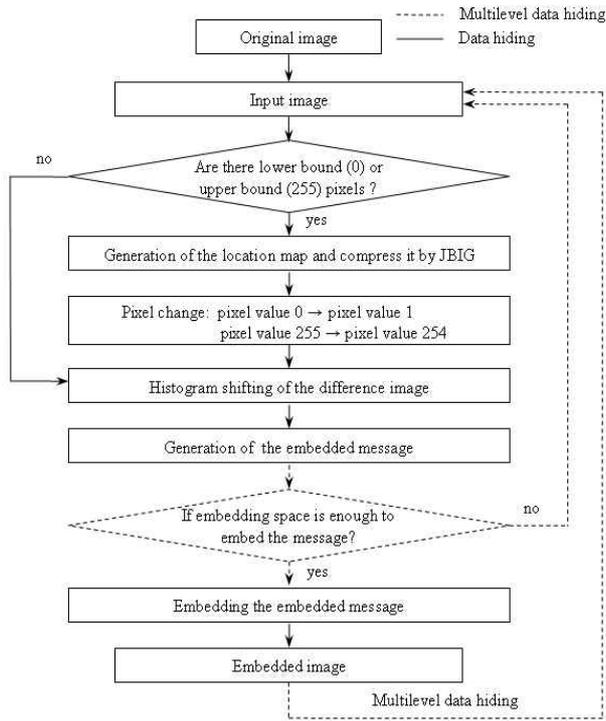


그림 6. 제안하는 가역 데이터 은닉 기법 순서도  
Fig. 6. The flowchart of the proposed reversible data hiding.

- Step 1 : 실험 영상에서 0과 255의 화소값들이 존재하는지를 확인 후, 이러한 값들이 존재한다면 로케이션 맵을 생성한 후 JBIG 압축 방식으로 압축한다. 그렇지 않으면, Step 3으로 이동한다.
- Step 2 : 원본 영상  $I(i, j)$ 의 0과 255의 화소값들을 1과 254의 화소값들로 각각 수정한다.
- Step 3 : Step2에 의해 수정된 영상의 홀수라인과 짝수라인을 이용해서 차분 영상  $D(i, j)$ 을 만든 후 히스토그램 변이 과정을 통하여 영상  $D(i, j)$ 을 만든다.
- Step 4 : Step 1에서 생성한 JBIG 데이터를 고려해서 영상에 삽입할 데이터의 구조를 만든다.
- Step 5 : 압축된 로케이션 맵의 데이터와 삽입하고자 하는 순수한 데이터를 포함한 “데이터의 구조”를 영상에 삽입한다.

멀티 레벨 데이터 은닉 기법 Step : Step 1~Step 5

까지의 단계를 원하는 데이터가 삽입될 때까지 반복한다. 본 논문에서는 데이터가 삽입된 영상의 PSNR을 높이기 위해 Step 3에서 현재 레벨에서 홀수라인에 데이터를 삽입하였다면 다음 레벨에서는 짝수라인에 데이터를 삽입하여 홀수와 짝수라인에 번갈아가면서 데이터를 삽입하였다.

### III. 제안하는 데이터 추출 알고리즘

데이터가 삽입된 영상에서 데이터의 추출과 복원 과정은 아래의 6단계로 이루어져있다. 추출 과정은 데이터를 삽입하는 과정과 비슷하다.

Step 1 : 데이터가 삽입된 영상  $I_e(i, j)$ 에 아래의 식을 적용하여 차분 영상  $D_e(i, j)$ 를 생성한다.

$$D_e(i, j) = I_e(i, 2j) - I_e(i, 2j+1) \quad (6)$$

Step 2 : 영상안에 삽입되어 있었던 데이터  $W_e(k)$ 를 아래와 같이 추출한다.

$$W_e(k) = \begin{cases} 0 & \text{if } D_e(k) = PP_1 \text{ or } PP_2 \\ 1 & \text{if } D_e(k) = PP_1 - 1 \text{ or } PP_2 + 1 \end{cases} \quad (7)$$

Step 3 : 홀수라인에 데이터를 삽입하였을 경우, 역 히스토그램 변이 과정으로 홀수라인  $I_e(i, 2j+1)$ 의 복원을 아래와 같이 수행한다.

$$I_e(i, 2j+1) = \begin{cases} I_e(i, 2j+1) + 1 & \text{if } D_e(i, j) \leq PP_1 - 1 \\ I_e(i, 2j+1) - 1 & \text{if } D_e(i, j) \leq PP_2 + 1 \\ I_e(i, 2j+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Step 4 : 추출되어진 데이터  $W_e(k)$ 는 삽입된 “데이터의 구조”에 따라 순수한 데이터의 데이터와 압축된 로케이션 맵의 데이터로 분류하여 저장한다.

Step 5 : Step 4에서 로케이션 맵이 있는 경우 JBIG 디코더를 통해 원본의 로케이션 맵을 얻은 후 0과 255의 화소값들을 마지막으로 복원한다.

멀티 레벨 데이터 은닉 기법 Step : 만약 추출된 첫 번째 비트가 0이면 Step1~Step5를 다시 반복하고, 추출된 첫 번째 비트가 1이면 현재 추출 및 복원 과정이 마지막이다. 또한 복원 과정에서 홀수라인과 짝수라인은 데이터 삽입 과정과 마찬가지로 번갈아가며 복원된다.

### IV. 실험결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 그림 7과 같이 512×512 사이즈 크기의 그레이 영상인 “Lena”, “Baboon”, “Peppers”, “Boat”, “Bacteria”, “Tiffany”의 영상들을 사용하였다. 제안한 알고리즘의 우수성을 보이기 위해 Ni<sup>[12]</sup>와 Lin<sup>[13]</sup>의 삽입량, PSNR, 부가 데이터(SI: Side Information)의 크기를 비교하여 평가하였다. 표 1은 오직 1 레벨의 삽입 후 결과들에 대한 결과이다.

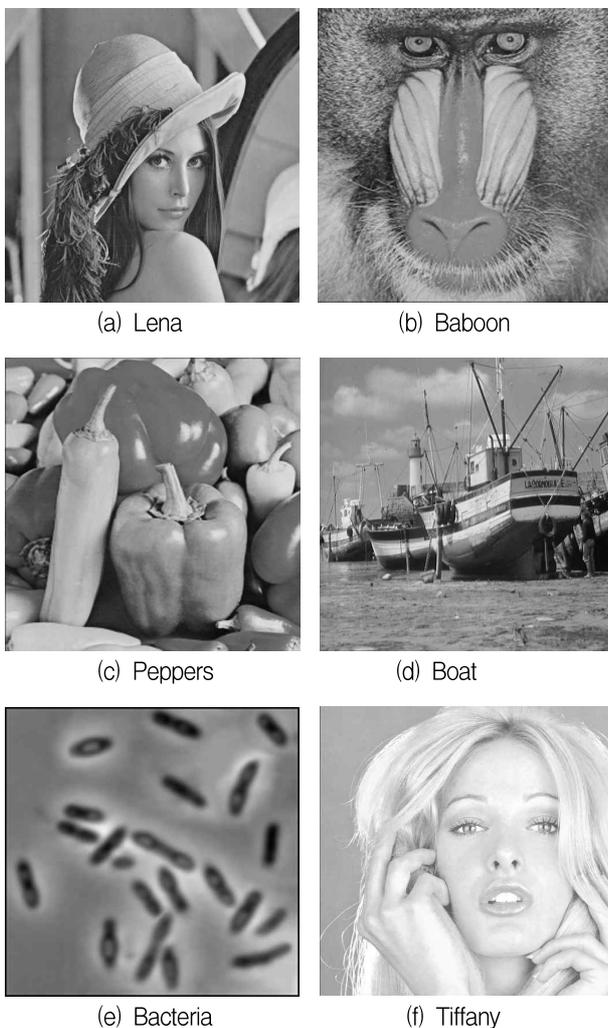


그림 7. 실험 영상  
Fig. 7. The original test images

#### 1. 삽입량

일반적으로 히스토그램의 수정을 이용한 알고리즘들의 삽입량은 히스토그램에서 최대값을 갖는 빈도수와 밀접한 관련이 있다. Ni<sup>[11-12]</sup>는 원본 영상 히스토그램의 최대값과 최소값의 쌍을 이용해서 영상에 데이터를

삽입하였다. 그러나 본 논문에서는 차분 영상 히스토그램의 최대값을 사용하였기 때문에 Ni보다 큰 삽입량을 얻을 수 있었다.

#### 2. PSNR

언더플로우와 오버플로우의 문제점을 일으키는 0과 255의 화소값이 존재하지 않는 실험 영상의 경우 제안한 알고리즘을 적용하여 영상의 홀수라인과 짝수라인의 화소값들에 1을 더하거나 뺀 때 MSE(Mean Squared Error)의 값은 1/2이다. 따라서 이론적 PSNR의 최소값은 식(9)와 같이 계산된다.

$$10\log_{10}(255^2 \cdot 2) \approx 51.14 \tag{9}$$

즉, 이 값은 데이터가 영상에 삽입되었을 때 가장 낮은 PSNR 값이다. 다른 알고리즘들에 이러한 계산을 적용하면 각각 48.18dB<sup>[11]</sup>와 42.69dB<sup>[13]</sup>의 값을 얻을 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘의 결과 영상 화질이 다른 알고리즘들의 결과 영상 화질 보다 더 우수하다는 것을 이론적으로 증명할 수 있다. 또한 직접 구현하여 실험한 결과, 이론적인 결과와 실험 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3. 부가 데이터(SI)

표 1의 실험결과에서 삽입량을 비교할 때 Lin<sup>[13]</sup>의 알고리즘이 가장 좋은 성능을 갖는 것처럼 보인다. 그

표 1. 실험 결과 (1 레벨)

Table 1. The simulation results (1st level).

Images	Algorithm	Capacity	PSNR	Size of SI
Lena	Ni[12]	5206	49.18	16
	Lin[13]	54211	48.69	114688
	Proposed	26488	51.60	18
Baboon	Ni[12]	6643	48.67	16
	Lin[13]	52939	47.69	114688
	Proposed	21739	51.52	18
Peppers	Ni[12]	6709	48.46	16
	Lin[13]	82967	46.97	98304
	Proposed	51250	52.09	18
Boat	Ni[12]	11289	48.47	16
	Lin[13]	45232	43.82	131072
	Proposed	16624	51.43	18
Bacteria	Ni[12]	11834	51.29	16
	Lin[13]	127898	27.06	65536
	Proposed	72949	52.56	16
Tiffany	Ni[12]	4519	50.35	16
	Lin[13]	56828	25.55	114688
	Proposed	25987	51.59	18

리나 부가 데이터를 확인할 때 흥미로운 결과를 확인할 수 있다. Lin<sup>[13]</sup>의 알고리즘의 경우 4x4 크기의 각 분할 영상들의 차분 영상 히스토그램 최대값들을 모두 연결하여 secret key로 사용하고 이 값을 부가 데이터로 따로 수신부에 송신한다. 따라서 많은 양의 부가 데이터가 발생한다. 만약 secret key값이 고정된 길이의 코드 워드로 연결된다면 부가 데이터의 비트 길이는 아래 식 (10)과 같이 계산된다.

$$b \times \lceil \log_2(\max(P_b)) \rceil \tag{10}$$

$P_b$ 는 4x3 크기 분할 영상의 차분 영상 히스토그램 최대값이고  $b$ 는 4x4 크기의 분할 영상의 개수이다. Lin<sup>[13]</sup>의 실험 결과, 대부분의 결과 영상들에서 부가 데이터의 크기가 실제 삽입된 데이터의 크기보다 큰 것을 확인할 수 있었다. Ni<sup>[11]</sup>의 경우 원본 영상 히스토그램의 최대값과 최소값의 쌍을 이용하여 데이터를 삽입하며 두 개의 쌍을 이용해서 영상에 데이터를 삽입할 때 두 개의 최대값이 부가 데이터가 된다. 제안하는 알고리즘은 차분 영상 히스토그램의  $PP_1$ 과  $PP_2$ 를 부가 데이터로 따로 전송하게 되는데 부호 비트를 포함해야 하기 때문에 18bit가 필요하다.

#### 4. 멀티 레벨 데이터 은닉 기법

그림 8은 5 레벨 데이터 은닉 기법을 적용하였을 때의 PSNR과 데이터 삽입량에 대한 결과 비교이다. 이 그래프에서는 부가 데이터는 고려하지 않았으며, 그림 5의 “F”필드에 해당하는 순수한 데이터 삽입량에 대한 비교를 하였다. 그래프의 실선과 점선은 제안하는 알고

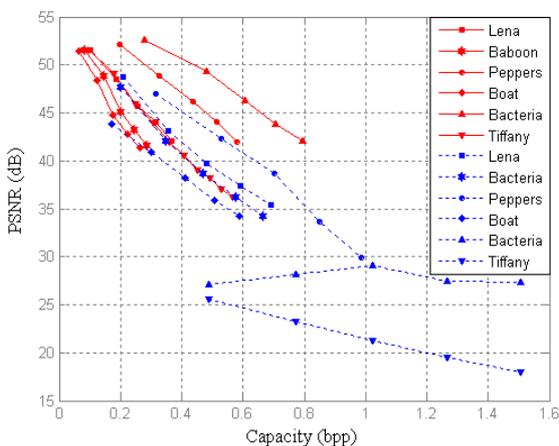


그림 8. 멀티 레벨 데이터 은닉 기법결과 비교(5 레벨)  
Fig. 8. Multilevel data hiding comparison(5 level).

리즘의 결과와 Lin<sup>[13]</sup>의 결과를 각각 나타낸다. 그래프에서 “Lena”, “Baboon”, “Peppers”, “Boat”의 실험 결과는 비슷한 패턴을 보이며, Lin<sup>[13]</sup>의 그래프는 반복적으로 데이터를 삽입함에 따라 더 높은 삽입량을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그래프에서 같은 양의 데이터를 삽입하였을 때 제안한 알고리즘의 결과 영상 PSNR 값이 더 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 본 논문에서는 언더플로우와 오버플로우의 문제점을 완벽하게 해결하였기 때문에 “Bacteria”와 “Tiffany”의 결과 영상에서 더 좋은 성능을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 차분 영상 히스토그램 수정 기반의 가역 데이터 은닉 알고리즘을 제안하였다. 히스토그램 변이에 의한 언더플로우와 오버플로우의 문제점을 해결하기 위해 0과 255의 화소값들의 위치를 표기하는 로케이션 맵을 생성하고 JBIG 압축하여 실험 영상에 순수한 데이터와 함께 삽입하였다. 데이터 삽입량을 증가시키기 위해 영상의 홀수라인과 짝수라인을 이용한 차분 영상의 히스토그램을 사용하여 데이터를 삽입하였고, 이런 일련의 과정을 반복적으로 수행하여 삽입량을 극대화시켰다. 다양한 영상을 대상으로 한 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 첫 번째 레벨에서 각 영상에 대한 삽입량은 Ni<sup>[11~12]</sup>보다는 크고 Lin<sup>[13]</sup> 보다 적게 나왔지만 사이트 정보량을 비교할 때 Lin은 삽입량보다 많은 사이트 정보량을 가진 반면 제안한 알고리즘의 사이트 정보량은 단지 18bit만을 필요로 하였다. 또한 모든 실험영상의 결과에서 50dB이상의 PSNR 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안하는 알고리즘은 영상의 왜곡과 부가 데이터를 적게 갖으면서 높은 데이터 삽입량을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 알고리즘은 군사용이나 의료용 영상과 같이 민감한 영상 인증 및 관련 분야 응용에 좋은 기법으로 적용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] Ingemar J. Cox, Joe Kilian, F. Thomson Leighton, Talal Shamoon(1997), “Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia,” IEEE transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, December 1997.

- [2] Jiwu Huang, Yun Q. Shi, and Yi Shi, "Embedding Image Watermarks in DC Components," IEEE transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 10, No. 6, pp. 974-979, September 2000.
- [3] Ping Wah Wong, Nasir Memon(2001), "Secret and Public Key Image Watermarking Schemes for Image Authentication and Ownership Verification," IEEE transactions on image processing, Vol. 10, No. 10, pp. 1593-1601, October 2001.
- [4] 우찬일, 전세길, "국부적인 변형 검출을 위한 효율적인 워터마킹," 전자공학회논문지, 제 43권 IE편, 제 2호, 87-92쪽, 2006년 6월
- [5] J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du "Lossless data embedding for all image formats," SPIE Proceedings of photonics West, Electronic Imaging, Security and Watermarking of multimedia Contents, Vol. 4675, pp. 572-583, January 2002.
- [6] J. Tian, "Reversible watermarking by difference expansion," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 8, pp. 890-896, August 2003.
- [7] A.M. Alattar, "Reversible watermark using the difference expansion of triplets," Proc. Int. Conf. Image Processing, Vol. 1, pp. 501-504, 2003
- [8] A.M. Alattar, "Reversible watermarking using the difference expansion of a generalized integer transform," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 8, pp. 1147-1156, August 2004.
- [9] H.J. Kim, V. Sachnev, Y.Q. Shi, J.Nam, H.G. Choo, "A Novel Difference Expansion Transform for Reversible Data Embedding," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Vol. 3, No. 3, pp. 1147-1156, September 2008.
- [10] 김천식, 윤은준, 조민호, 홍유식, "의료영상을 위한 복원 가능한 데이터 은닉 및 메시지 인증," 전자공학회논문지, 제 47권 CI편, 제 1호, 65-72쪽, 2010년 1월
- [11] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," in Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 912-915, Bangkok, Thailand, May 2003.
- [12] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," IEEE transactions on circuits and systems for video technology," Vol. 16, No. 3, pp. 354-362, March 2006.
- [13] C.C. Lin, W. L. Tai, and C.C. Chang, "Multilevel reversible data hiding based on histogram modification of difference images," Pattern Recognition, Vol. 41, No. 12, pp. 3582-3591, December 2008.
- [14] Sang-Kwang Lee, Young-Ho Suh, Yo-Sung Ho, "Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images," PCM pp. 340-347, Berlin Heidelberg, 2004.
- [15] K.S. Kim, J. Lee, H.Y. Lee and H.K. Lee, "Reversible data hiding exploiting spatial correlation between sub-sampled images," Pattern Recognition, Vol. 42, No. 11, pp. 3083-3096, November 2009.

---

 저 자 소 개
 

---



유 향 미(학생회원)

2005년 청주대학교 전자공학과 학사 졸업.

2009년 충북대학교 전자공학과 석사 졸업.

2009년~현재 충북대학교 전자공학과 박사과정

&lt;주관심분야 : 워터마킹, 동영상압축&gt;



서 재 원(정회원)-교신저자

1995년 충북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1997년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사 졸업.

2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사 졸업.

2003년~2004년 LG전자기술원 선임연구원

2004년~현재 충북대학교 전자정보대학 부교수 컴퓨터정보통신연구소 비전임 연구원

&lt;주관심분야 : 디지털 영상신호처리, 동영상 압축&gt;



이 상 광(정회원)

1996년 한국항공대학교 전자공학과 학사 졸업.

1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사 졸업.

2004년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사 졸업.

2004년 8월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

&lt;주관심분야 : 콘텐츠보호, 디지털 영상처리&gt;