

# 개선된 히스토그램 쉬프팅 기법을 이용한 리버서블 워터마킹

황진하<sup>†</sup> · 김종원<sup>\*\*</sup> · 최종욱<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

논문에서는 워터마크 추출 후 원본 이미지를 복원할 수 있는 리버서블 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 대부분의 워터마킹 기법에서는 정보 삽입 때문에 원본 이미지에 열화를 발생시키지만 본 알고리즘은 워터마크 추출 후 워터마크가 삽입된 이미지로부터 열화를 제거하여 원본 이미지를 복원시킨다. 제안한 알고리즘에서는 히스토그램 쉬프팅과 로케이션 맵 구조를 이용한다. 로케이션 맵을 이용함으로써 플립 현상을 제거하고 반복적인 정보 삽입을 통해 정보 삽입량을 크게 증가시킬 수 있었다. 실험 결과 최대 120k bits의 높은 정보 삽입량을 보이면서도 평균 41dB 이상의 우수한 비가시성을 보임을 확인하였다.

키워드 : 워터마킹, 리버서블, 인증, 히스토그램 쉬프팅

## Reversible Watermarking Based On Advanced Histogram Shifting

Hwang Jin Ha<sup>†</sup> · Kim Jong Weon<sup>\*\*</sup> · Choi Jong Uk<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose a reversible watermarking method to recover an original image after the watermark has been extracted. Most watermarking algorithms cause degradation of image quality in original digital content in the process of embedding watermark. In the proposed algorithm, the original image can be obtained when the degradation is removed from the watermarked image after extracting watermark information. In the proposed method, we utilize histogram shifting concept and Location Map structure. We could solve the Flip-Flop problem by using Location Map structure and enlarge the information embedding capacity by embedding recursively. Experimental results demonstrate that the embedding information as large as 120k bits can be realized while the invisibility as high as 41dB can be maintained.

Key Words : Watermarking, Reversible, Authentication, Histogram Shifting

### 1. 서 론

최근 콘텐츠의 불법 복제 및 유통을 차단할 수 있는 DRM(Digital Rights Management) 기술이 커다란 관심을 받고 있다. DRM은 콘텐츠를 암호화함으로써 콘텐츠가 불법 유통되더라도 라이선스를 소유하지 않은 사용자는 콘텐츠를 사용할 수 없게 만드는 기술이다. 이처럼 DRM은 암호 기법을 통하여 콘텐츠의 불법 복제를 사전에 차단할 수 있는 기술이지만 콘텐츠가 복호화되어 이용되는 순간에는 무방비상태가 된다. 이 무방비상태를 보호할 수 있는 기술이 디지털 워터마킹으로 저작권 정보인 워터마크의 삽입으로 디지털 콘텐츠의 저작권을 보호할 수 있도록 한다. 기존의 디지털 워터마킹은 비가시성을 만족시키기 위해 디지털콘텐츠의 정보

를 사람들이 인지할 수 없을 정도로만 변경을 수행하여 저작권을 보호하였지만, 디지털콘텐츠의 원래 정보를 복원할 수는 없었다. 하지만 의료나 군 관련 이미지 등 원본 이미지에서의 조그만 정보 손실이 큰 영향을 미치는 응용 분야에서는 삽입된 저작권 정보 추출 후 원본 이미지를 복원할 수 있는 기술이 필요하였다. 이에 최근 수년간 저작권 정보 추출 후 원래 정보를 복원할 수 있는 리버서블 워터마킹에 대한 연구가 활발히 진행되었다[1,2]. 본 논문에서는 히스토그램의 변형을 통해 정보를 삽입하며, 로케이션 맵을 생성하여 워터마크와 함께 이미지에 삽입하여 반복적으로 정보를 삽입함으로써 정보 삽입량을 크게 향상시킬 수 있는 리버서블 워터마킹 기법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 리버서블 워터마킹 기술과 기존 연구들을 비교, 분석하며, 3장에서는 제안한 리버서블 워터마킹 알고리즘에 대해 서술하며, 4장에서는 제안한 워터마킹 알고리즘의 실험 결과를 분석하고, 5장에서는 결론에 대해 기술한다.

<sup>†</sup> 준 회원 : 상명대학교 디지털저작권보호연구센터 연구원

<sup>\*\*</sup> 정 회원 : 상명대학교 디지털저작권보호연구센터 책임연구원

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 상명대학교 소프트웨어대학 교수

논문접수 : 2006년 9월 18일, 심사완료 : 2006년 12월 14일

## 2. 리버서블 워터마킹 알고리즘

리버서블 워터마킹 알고리즘은 최근 특정한 응용분야(군사용 데이터 혹은 의료 이미지 데이터)에서 각광 받고 있는 연성 워터마킹의 한 분야로 콘텐츠에 연성 워터마크를 삽입한 후, 콘텐츠 인증 및 무결성 검사와 같은 여러 가지 목적으로 사용할 수 있다. 리버서블 워터마킹 알고리즘의 가장 큰 장점은 정보 삽입 때문에 발생하는 열화를 정보 추출 후 제거하여 원본으로 복원할 수 있다는 점이다. 최근에 여러 가지 방식의 리버서블 워터마킹 알고리즘이 제안되었는데, 그 중 대표적인 방식을 보면 다음과 같다.

대표적인 리버서블 워터마킹 기법은 삽입 공간 압축을 통해 확보된 추가 공간에 원본 이미지를 복원하기 위한 정보를 삽입하는 기법이다. 이 기법의 대표적인 예는 Fridrich가 제안한 논문에서 확인할 수 있다[1,2]. 이 기법은 이미지를 블록 단위로 나누어서 정보를 삽입하면 더욱 효과적이며 원본 이미지를 복원하기 위해 반드시 비 손실 압축 기법을 이용해야 한다. 또 다른 기법은 원본 이미지의 특성을 포함할 수 있는 작은 값을 생성하여 그 값을 확장함으로써 확장된 공간에 정보를 삽입하는 기법이다. Tian의 알고리즘 같은 경우 정수형 웨이블릿 변환 방법으로 이미지의 차이 값과 평균값을 이용하여 원본 이미지의 특성 값을 생성한 후 특성 값을 확장하여 그 공간에 정보를 삽입한다[5]. 이 기법은 이미지의 차이 값을 이용하기 때문에 픽셀 간의 차이가 작은 저주파 이미지에서 효과적이다. 마지막으로 히스토그램의 값을 수정하여 정보 삽입 공간을 생성하여 정보를 삽입하는 기법이 있다. Ni의 알고리즘은 히스토그램의 최대점과 최소점을 선택한 후 히스토그램 값을 수정함으로써 우수한 PSNR과 높은 정보 삽입량을 보였으나 부가적인 정보가 필요한 단점이 있었다[3]. 또한 Lee의 알고리즘은 Ni의 문제점을 해결하기 위해 차분 이미지에서 차이 값이 -1 또는 1인 위치에 정보를 삽입함으로써 Ni의 알고리즘이 가지는 단점은 해결하였으나 오버플로우를 해결하기 위한 모듈로 연산 때문에 Salt & Pepper 잡음 현상을 보이는 단점이 존재했다[4].

## 3. 제안한 리버서블 워터마킹 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기본적으로 Lee가 제안한 방법을 이용한다. Lee가 제안한 방법은 차분 이미지의 히스토그램 값만으로 페이로드 삽입 위치를 결정하기 때문에 원본 이미지의 픽셀 값에 따라 오버플로우를 발생시킬 수 있었다. Lee의 알고리즘에서는 오버플로우 현상을 제거하기 위해 모듈로 연산을 이용하는 방법을 제안하였는데 모듈로 연산을 이용하게 되면 오버플로우는 방지할 수 있으나 픽셀 값의 플립 현상을 유발하여 Salt & Pepper 잡음 현상을 보여 화질의 열화가 눈에 띄는 단점을 보였다. 본 논문에서는 오버플로우를 발생시킬 수 있는 픽셀들의 위치 정보를 저장할 수 있는 로케이션 맵을 생성하여 함께 삽입함

으로써 오버플로우 및 Salt & Pepper 잡음 현상 문제를 해결하였다.

### 3.1 삽입 알고리즘

그림 1은 제안된 알고리즘의 삽입 구조를 나타내고 있다.

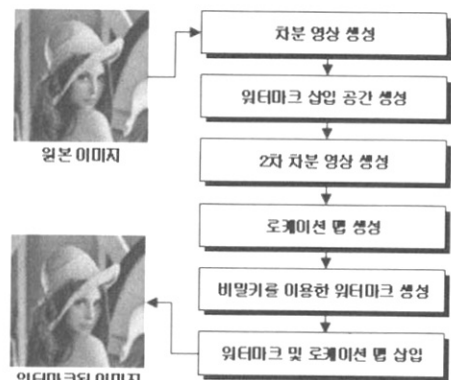
삽입 알고리즘의 전체 구성을 보면 우선 홀수행과 짝수행 간의 차분 이미지를 구한다. 차분 이미지를 구한 후 차분 이미지의 히스토그램 값이 -1 또는 1인 짝수행에 워터마크를 삽입하기 위해 히스토그램이 -2 이하인 값은 짝수행 픽셀에 -1을 수행하고, 2 이상인 값은 +1을 수행하여 삽입 공간을 만들어낸다. 삽입 공간을 생성하면서 오버플로우 및 Salt & Pepper 잡음 문제를 해결하기 위한 로케이션 맵을 생성하고, 랜덤하게 생성된 워터마크와 합하여 원본 이미지에 삽입할 페이로드를 생성한다.

$$P = LUW = p_1 p_2 \dots p_j \tag{1}$$

실제적으로 원본 이미지에 삽입되는 페이로드는  $p_i \in \{0,1\}$ ,  $1 \leq i \leq j$  로써  $j$ 는  $P$ 의 비트 길이이고,  $L$ 은 로케이션 맵,  $W$ 는 삽입되는 실제 워터마크를 나타낸다.

삽입 공간을 생성할 때 오버플로우의 발생을 막기 위해 로케이션 맵을 생성하는 과정을 간단한 플로우차트로 나타내면 그림 2와 같다.

로케이션 맵의 경우 차분 이미지의 히스토그램이 2보다 커 쉬프트시켜야 하는 경우는 짝수행의 픽셀 값이 255인 경우만 고려하면 된다. 픽셀 값이 255일 경우 해당 위치 좌표를 저장하면서 짝수행의 픽셀 값은 변화시키지 않고 홀수행에서 1을 빼게 된다. 홀수행에서 1을 빼면 2보다 커지게 되어 원본 이미지 복원 시 문제가 발생하지 않는다. 하지만 이 때 홀수행의 픽셀 값이 0일 경우는 1을 빼게 되면 언더플로우가 발생하기 때문에 값이 0인 픽셀의 위치를 저장하고 1을 빼지 않는다. 이와 같이 해당 조건에 부합하는 픽셀의 값을 변형시키지 않고 위치를 저장함으로써 오버플로우 발생이나 Salt & Pepper 잡음 현상없이 페이로드를 삽입할 수 있고, 추출 시 원본 이미지의 복원이 가능해진다. 차분 이미지의 히스토그램이 -2이하인 경우는 위의 조건을 반대



(그림 1) 워터마크 삽입 구조도

로 적용한다. 그림 2에서 D는 차분이미지, I는 원본 이미지, Count\_255는 값이 255인 픽셀의 수, Count\_0는 값이 0인 픽셀의 수, I\_255와 J\_255는 X, Y 좌표의 값을 저장하는 배열을 나타낸다.

페이로드의 삽입은 다음의 방법으로 이루어진다. P는 로케이션 맵과 워터마크가 더해져진 페이로드를 나타내고 I\_w는 페이로드가 삽입된 이미지를 나타낸다.

$$I_w(i,2j) = \begin{cases} I'(i,2j) + 1, & \text{if } D'(i,j) = 1 \& P(m,n) = 1 \\ I'(i,2j) - 1, & \text{if } D'(i,j) = -1 \& P(m,n) = 1 \\ I'(i,2j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$I_w(i,2j-1) = I(i,2j-1)$$

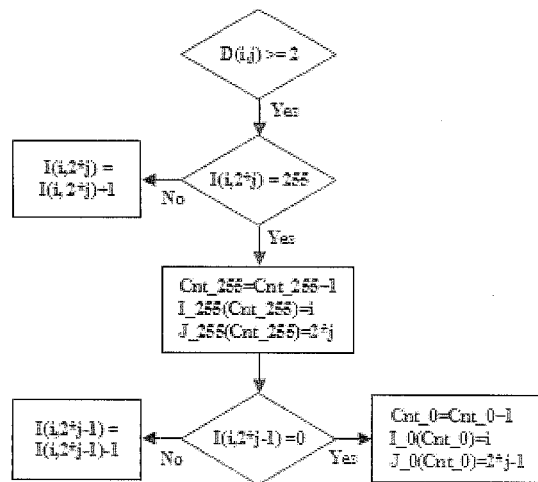
차분 이미지의 값이 1이고 페이로드 값이 1인 경우 해당 위치의 픽셀에 1을 더하고 차분 이미지의 값이 -1이고 페이로드 값이 1인 경우는 해당 위치의 픽셀에서 1을 빼고, 그 이외의 경우에는 픽셀의 값을 변형시키지 않음으로써 페이로드가 삽입된 이미지를 획득하게 된다.

### 3.2 로케이션 맵

제안한 알고리즘에서는 오버플로우 문제를 해결하기 위해 오버플로우를 발생시킬 수 있는 픽셀의 위치 정보를 저장하는 로케이션 맵을 생성한다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 로케이션 맵의 구조를 나타낸다. 로케이션 맵은 차분 이미지에 의해 결정된 삽입 위치에 있는 0의 개수, 255의 개수, 0의 값을 갖는 픽셀의 X, Y 좌표, 255의 값을 갖는 픽셀의 X, Y좌표로 구성되어 있다. 삽입 위치에 있는 0과 255의 개수를 나타내는 필드는 거의 모든 이미지에서 512개를 넘지 않기 때문에 각각 9비트로 표현하였다. 그 뒤로 0과 255의 값을 갖는 픽셀의 위치 좌표를 저장하기 위해 각 18비트씩을 할당하는데 이 필드는 부가 정보로써 삽입 위치에 있는 픽셀이 0과 255의 값을 가지지 않는 경우는 로케이션 맵에 포함되지 않는다.

즉, 이미지에서 삽입 조건에 부합하면서 0과 255의 값을



(그림 2) 위치 정보를 저장하기 위한 알고리즘

가지는 픽셀이 적게 분포하면 로케이션 맵으로 인한 실제 워터마크 삽입량의 저하는 상당히 작다고 할 수 있다. 로케이션 맵을 워터마크와 함께 삽입함으로써 실제 정보의 삽입량은 조금 줄어들지만 오버플로우 문제를 해결함으로써 Salt & Pepper 잡음 현상을 제거할 수 있다.

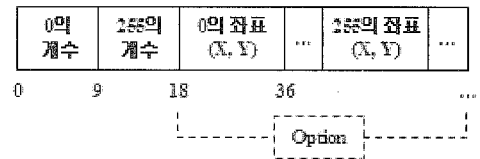
### 3.3 반복 삽입

본 논문에서 제안한 기본 리버서블 워터마킹 알고리즘은 짝수행에만 페이로드를 삽입하는 방법으로 높은 PSNR과 정보 삽입량을 보였으며 완전하게 원본 이미지의 복원이 가능하였다. 원본 이미지로의 복원이 가능하다는 것은 페이로드를 반복적으로 삽입해도 문제가 없다는 것을 의미한다. Lee의 알고리즘은 모듈로 연산을 이용하여 Salt & Pepper 잡음 현상을 발생시켰기 때문에 페이로드를 반복적으로 삽입하는 것이 불가능하였다. 그러나 제안한 알고리즘은 로케이션 맵을 통하여 오버플로우와 잡음 현상을 완전하게 제거하였기 때문에 삽입 위치를 달리하여 반복적으로 페이로드를 삽입할 수 있다.

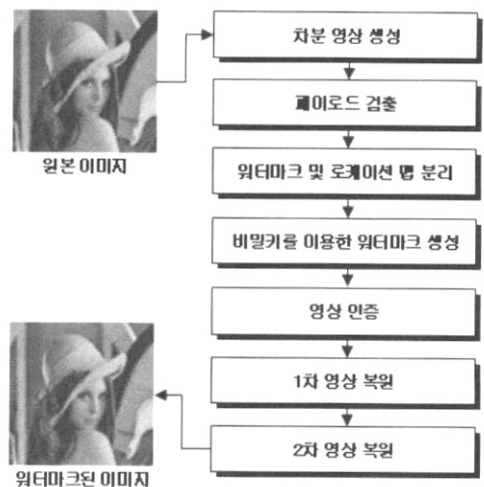
추출 시에는 역 방향으로 추출을 시작하여 워터마크 추출 및 원본 이미지의 복원을 수행하게 된다. 본 논문에서 적용한 6번의 반복 삽입을 통해 평균 41dB 이상의 우수한 PSNR과 최대 120k bits의 높은 정보 삽입량을 획득할 수 있었다.

### 3.4 추출 및 원본 이미지 복원 알고리즘

그림 4는 삽입된 워터마크의 추출 및 원본 이미지의 복원 구조를 나타낸다.



(그림 3) 로케이션 맵 구조도



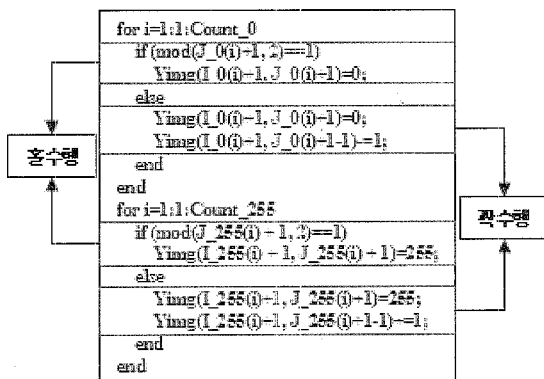
(그림 4) 워터마크 추출 및 복원 구조도

위터마크 추출 알고리즘은 위터마크가 삽입된 이미지로부터 홀수행과 짝수행 간의 차분 이미지를 구하는 것으로부터 시작한다. 차분 이미지를 구한 후, 차분 이미지의 픽셀 값을 스캔하면서 -1 또는 1인 값을 가지는 픽셀을 만나면 0을 추출하고, -2 또는 2인 픽셀을 만나면 1을 추출함으로써 삽입된 페이로드를 간단히 추출할 수 있다.

페이로드를 추출하고 나면 페이로드로부터 로케이션 맵과 위터마크를 분리하여야 한다. 우선 페이로드에서 처음 8비트 정보를 통해 픽셀 값이 0인 지점의 개수를 확인하고, 그 다음 8비트 정보를 이용하여 픽셀 값이 255인 지점의 개수를 확인한다. 픽셀 값이 0이거나 255인 픽셀의 개수가 0으로 확인되면 그 다음 비트부터가 실제 위터마크가 되고, 개수가 0이 아니면 픽셀 값이 0인 픽셀과 255인 픽셀의 위치 정보 이후부터가 실제 위터마크가 된다. 로케이션 맵과 위터마크가 분리되면 삽입 시 사용한 키를 이용하여 생성한 랜덤 위터마크와의 상관도를 구하여 위터마크가 동일함을 확인하여 이미지 인증을 수행한다.

이미지 인증이 성공적으로 수행되면 원본 이미지의 복원을 시작하는데 원본 이미지 복원은 우선 차분 이미지를 스캔하면서 픽셀 값이 -2보다 작은 픽셀을 만나면 짝수행에 1을 더하고, 2보다 큰 픽셀을 만나면 짝수행에서 1을 빼서 1차적으로 이미지를 복원한다. 삽입 조건에 해당하는 픽셀 중 0이나 255의 값을 가지는 픽셀이 존재하지 않는다면 위의 방법만으로 원본 이미지가 복원되지만, 존재한다면 로케이션 맵에 저장된 0과 255인 픽셀의 위치를 찾아 2차 복원을 수행하게 된다. 그림 5는 2차 복원 과정을 Matlab 코드로 나타내고 있다.

로케이션 맵에 저장된 0과 255인 값을 가지는 픽셀의 위치 중 홀수행의 경우 페이로드 삽입 과정에서 값이 변하지 않기 때문에 로케이션 맵에 저장된 위치 정보를 이용하여 0 또는 255의 픽셀 값을 그대로 적용하면 되지만 짝수행의 경우 값을 변경하였기 때문에 추가적인 계산을 수행해야 한다. 짝수행에서 0의 값을 가지는 픽셀이 있으면 해당 위치의 홀수행에서 1을 빼주고 255의 값을 가지는 픽셀이 있으면 해당 위치의 홀수행에서 1을 더함으로써 완전하게 원본 이미지를 복원시킬 수 있게 된다.



(그림 5) 2차 복원 알고리즘

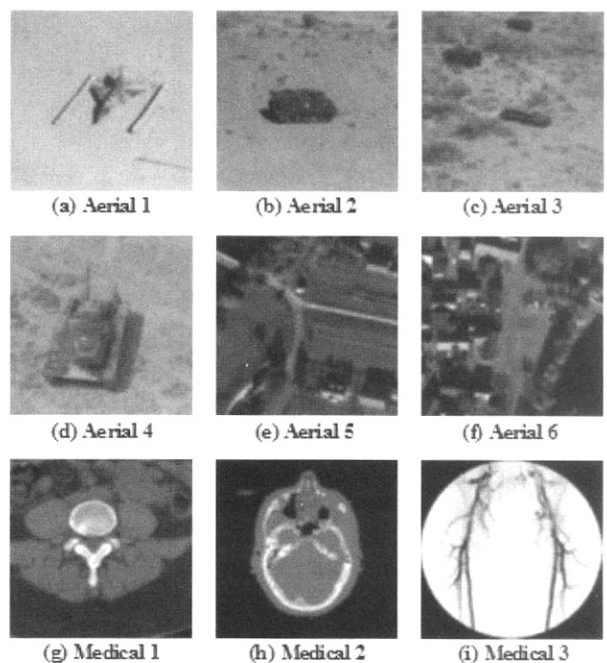
#### 4. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 리버서블 위터마킹 알고리즘의 비가시성 및 정보 삽입량을 확인하기 위하여 512×512크기의 흑백 이미지를 실험 이미지로 사용하여 실험하였다. 표 1은 본 논문에서 제안한 기본 알고리즘의 실험 결과를 나타내고 있다. 실험 결과를 보면 로케이션 맵의 삽입으로 오버플로우나 언더플로우로 인해 발생하는 플립 현상 및 Salt & Pepper 잡음 현상없이 높은 PSNR을 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 6과 표 2는 에어리얼 이미지와 의료용 이미지에 대해 제안한 알고리즘을 실험한 예와 결과를 나타낸다. 실험 결과 에어리얼 이미지에 대해서는 반복 삽입을 통해 좋은

<표 1> 제안한 알고리즘의 실험 결과

실험 이미지 (512×512×8)	PSNR (dB)	삽입량 (비트수)	오버플로우/ 언더플로우 (픽셀수)
Airplane	52.53	31,343	0
Baboon	51.39	6,884	0
Goldhill	52.01	20,510	0
Lena	52.13	24,130	0
Peppers	51.77	17,402	0
Sailboat	51.67	14,766	0
Tiffany	52.20	21,372	0
House	52.31	23,558	0
Milk	52.53	31,396	0



(그림 6) 에어리얼 및 의료용 실험 이미지

〈표 2〉 군사용 및 의료용 이미지 실험 결과

실험 이미지 (512×512×8)	PSNR(dB)	삽입량(비트수)
Aerial 1	41.64	89,147
Aerial 2	41.10	60,366
Aerial 3	41.36	51,164
Aerial 4	41.16	44,627
Aerial 5	41.93	121,003
Aerial 6	42.12	101,153
Medical 1	41.90	52,808
Medical 2	55.29	37,938
Medical 3	53.44	11,069

〈표 3〉 기존 연구와의 성능 비교

알고리즘	PSNR(dB)	삽입량(bpp)
Ni's[3]	48.20	0.0208
Lee's[4]	57.63	0.0899
Tian's[5]	40.06	0.3856
Xuan's[6]	36.04	0.3261
Celik's[7]	40.05	0.1798
Liang's[8]	39.44	0.4090
Yang's[9]	42.85	0.1595
Ours	41.46	0.3662

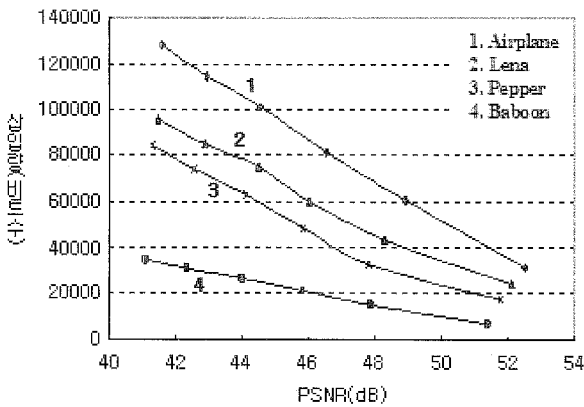


그림 7. 반복 삽입 시 PSNR 및 정보 삽입량

성능 개선을 보였지만, 의료용 이미지의 경우 흑백 여백이 많아 로케이션 맵에 저장해야 하는 정보가 많아져 반복 삽입의 효과가 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이 부분은 히스토그램을 이용한 방법의 단점으로 개선이 필요한 부분이다. 표 3의 실험 결과는 로케이션 맵이 정보 삽입량을 넘어서지 않는 경우까지 삽입한 결과이다.

그림 7은 페이로드의 반복 삽입을 통해 삽입량을 증가시켰을 때의 PSNR과 정보 삽입량을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 6번의 반복을 진행하였을 때 PSNR은 다소 낮아지지만, 최대 삽입량이 120k 비트로 한번 삽입했을 때보다 월등히 높은 정보 삽입량을 보임을 확인할 수 있다. 또한 최대 120k 비트의 정보를 삽입하면서도 PSNR의 평균이 41dB 이상으로 우수한 비가시성을 보임을 확인하였다.

표 3에서는 Lena 이미지에 대해 본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존 다른 연구와의 PSNR 및 정보 삽입량을 비교하였다. 실험 결과에서 보는 것처럼 제안한 알고리즘이 정수형 웨이블릿 변환을 이용한 Tian과 Liang의 연구와는 비슷한 성능을 보이고 있으며, 타 연구에 비해서는 높은 PSNR을 유지하면서 더 많은 정보 삽입량을 보임을 확인할 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 히스토그램 쉬프팅과 로케이션 맵 구조를 이용한 리버서블 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 로케이션 맵을 이용함으로써 플립 현상으로 인한 뚜렷한 화질 저하를 제거함으로써 평균 52.06dB의 PSNR을 보여 우수한 비가시성을 나타냈으며, 6k~30k bits의 높은 정보 삽입량을 보여 이미지 인증 응용에 적합함을 확인할 수 있었다. 또한 본 알고리즘은 Salt & Pepper 잡음 문제를 해결함으로써 반복적인 정보 삽입을 통해 삽입량을 추가로 늘릴 수 있었다. 반복적인 정보 삽입을 통해 최대 120k bits의 높은 정보 삽입량을 보이면서도 평균 41dB 이상의 우수한 비가시성을 보임을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Fridrich, J. Goljan, and R. Du, "Invertible authentication," in SPIE Proceedings of Security and Watermarking of Multimedia Content, pp.197-208, San Jose, Jan., 2002.
- [2] J.Fridrich and M. Goljan, "Lossless data embedding for all image formats," in SPIE Proceedings of Photonics West, Electronic Imaging, Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol.4675, pp.572-583, San Jose, Jan., 2002.
- [3] Zhicheng Ni, Yun Qing Shi, Nirwan Ansari, and Wei Su, "Reversible Data Hiding," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.16, No.3, March, 2006.
- [4] Sang Kwang Lee, Young Ho Suh, Yo Sung Ho, "Lossless Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images," in PCM 2004, LNCS 3333, pp.340-347, 2004.
- [5] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," in IEEE Transactions on Circuits Systems and Video Technology, Vol.13, No.8, pp.890-896, Aug., 2003.

[6] G. Xuan, J. Zhu, J. Chen, Y. Q. Shi, Z. Ni, W. Su, "Distortionless Data Hiding Based on Integer Wavelet Transform," in IEE Electronics Letters, pp.1646-1648, Dec, 2002.

[7] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Lossless generalized lsb data embedding," in IEEE Transactions on Image Processing, vol.14, no.2, pp.253-266, Feb., 2005.

[8] Xiaoping Liang, Xiaoyun Wu, Jiwu Huang, "Reversible Data Hiding for Image Based on Histogram Modification of Wavelet Coefficients", in CIS, pp.573-580, 2005

[9] B. Yang, M. Schmucker, W. Funk, C. Busch, S. Sun, "Integer DCT based reversible watermarking for images using companding technique," Proceedings of SPIE Vol. 5306, Jan., 2004

**황진하**



e-mail : auking45@smu.ac.kr  
 2005년 상명대학교 소프트웨어학부  
 졸업(이학사)  
 2005년~현재 상명대학교 컴퓨터과학과  
 석사과정  
 2005년~현재 상명대학교  
 디지털저작권보호연구소 연구원

관심분야: 디지털워터마킹, 저작권관리기술, 디지털 신호처리, 컴퓨터보안

**김종원**



e-mail : jwkim@smu.ac.kr  
 1989년 서울시립대학교 전자공학과  
 졸업(공학사)  
 1991년 서울시립대학교 전자공학과  
 졸업(공학석사)  
 1995년 서울시립대학교 전자공학과  
 졸업(공학박사)

1996~2000년 주성대학 정보통신학과 조교수  
 2000~2004년 (주)마크애니 부설연구소장  
 2005~현재 상명대학교 디지털저작권보호연구소 책임연구원  
 관심분야: 디지털워터마킹, 저작권보호 및 관리 기술, 디지털  
 신호처리

**최종욱**



e-mail : juchoi@smu.ac.kr  
 1982년 아주대학교 산업공학과(공학사)  
 1982년 서울대학교 경영학과(석사수료)  
 1988년 University of South  
 Carolina (MIS, Ph.D)  
 1988~1991년 한국과학기술연구원  
 시스템공학연구소 선임연구원

2000년~현재 (주)마크애니 대표이사  
 1991년 현재 상명대학교 소프트웨어대학 교수  
 관심분야: 디지털워터마킹, 저작권보호 및 관리 기술,  
 정보보호응용기술, 인공지능