

최적화된 히스토그램 이동을 이용한 새로운 가역 워터마킹 기법

New Method of Reversible Watermarking Using Optimal Histogram shift

황 희 준*, 김 형 중**, Vasiliy Sachnev**

Hee-Joon Hwang, Hyoung-Joong Kim, Vasiliy Sachnev

Abstract

가역 정보 은닉이 되기 위해서는, 비밀 정보가 삽입된 콘텐츠에서, 삽입된 비밀 정보 뿐만 아니라, 원본 콘텐츠를 완벽하게 복구시킬 수 있어야 한다. 이미지 상에서 가역 정보 은닉을 할 때, 데이터의 삽입 용량이 크고, 왜곡이 작도록 설계해야 한다. 본 논문은 삽입 용량을 증가시키기 위해 데이터를 삽입시키는 차분값으로서 예측 오류 값을 이용하였고, 왜곡을 감소시키기 위해서 차분값을 정렬하고, 데이터 삽입 시에 최적화된 히스토그램 이동을 이용하였다. 본 논문에서는 이 세 가지 기술을 조합하여 가역 정보 은닉을 하는데 성공하였고, 최적화된 히스토그램 경계값을 구해내는 알고리즘이 제시되었다.

Keywords : Reversible Data Hiding, Optimum Histogram Shift, Sorting, Prediction

I. 서 론

가역 정보 은닉이란 이미지, 오디오, 비디오와 같은 원본 디지털 콘텐츠에 비밀 정보를 삽입한 뒤에, 숨겼던 데이터 뿐만 아니라 원본 콘텐츠도 복원할 수 있는 기술이다. 이러한 가역 정보 은닉 기술은 원본 콘텐츠를 손상 없이 그대로 보존하여 수신자에게 전달할 수 있는 측면에서 중요하다. 어떠한 정보도 삽입되지 않고, 전혀 손실되지 않은 원본의 중요성이 매우 큰 의료 이미지, 군용 보안 이미지 등에서 유용하게 사용될 수 있다. 본 논문에서는 이미지 상에서의 가역 정보 은닉만을 다룬다.

가역 정보 은닉 기술은 원본 콘텐츠가 그대로 복원될 수 있는 가역성을 만족시키면서도, 다음 두 가지 요건을 충족시킬 수 있어야 한다. 첫째는 삽입 용량이 커야 하고, 둘째는 이미지의 왜곡이 적어야 한다. 이 두 가지 요건은 서로 충돌되는 부분이다. 이를 해결하기 위해서 많은 가역 정보 은닉 기술이 개발되어 왔다. 그리고 본 논문에서는 지금까지 개발되어 온 정보 은닉 기술을 정리해 보고, 그것을 조합한 탁월한 기법을 제시한다.

2장에서는 가역 정보 은닉 기술이 어떻게 발전되어 왔는지 살펴보고, 3장에서는 새롭게 제안한 알고리즘, 4장에서는 실험 결과, 5장에서는 결론을 다루도록 하겠다.

II. 기존의 가역 워터마킹 알고리즘

1. 픽셀 쌍을 이용한 차분 확장

Tian은 [1] 가역 정보 은닉을 위해서 인접한 두 픽셀을 이용한다. 두 픽셀은 하나의 셀(cell)을 이룬다. 각각의 픽셀

밝기 값이 x 와 y 일 때, (1)식을 통해서 두 픽셀의 밝기값의 차분값(h)과 평균값(a)를 구한다. 그 값을 (3)식과 같이 2배로 확장시키고, 비트를 삽입하게 된다. 그리고 (4)식과 같이 비트가 삽입된 픽셀의 밝기값을 구할 수 있게 된다.

$$h = x - y \quad (1)$$

$$a = \left\lfloor \frac{x + y}{2} \right\rfloor \quad (2)$$

$$H = 2h + bit \quad (3)$$

$$X = a + \left\lfloor \frac{H+1}{2} \right\rfloor, Y = a - \left\lfloor \frac{H}{2} \right\rfloor \quad (4)$$

이 방식은 2진수로 보았을 때, 비트 이동(bit shift)을 하고, LSB(Least Significant Bit)에 페이로드를 삽입하는 방식이라고 볼 수 있다.

디코딩 시에는 (5)식과 같이 H (확장된 h 값, 일반적으로 데이터가 삽입되면 대문자를 사용한다.)를 2로 나누어 버림을 취해서 원래 h 값을 구할 수 있다. 또한 (6)식과 같이 H 값을 2로 법 연산을 해주면 삽입되었던 비트를 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 값들을 통해서 삽입된 데이터 뿐만 아니라 원본 이미지도 그대로 복원할 수 있다.,

$$h = \left\lfloor \frac{H}{2} \right\rfloor \quad (5)$$

$$bit = H \bmod 2 \quad (6)$$

이와 같은 Tian의 방법은 두 픽셀 당 한 개의 bit씩을 숨기기 때문에 최대 삽입 용량은 0.5 bpp에 불과하다. 거

접수일자 : 2009년 7월 21일

최종완료 : 2009년 8월 14일

*고려대학교 정보경영전문대학원 대학원

**고려대학교 정보경영전문대학원

교신저자, E-mail : khj-@korea.ac.kr

기다가 디지털 이미지가 일반적으로 0부터 255까지 숫자의 밝기값으로 표현되는데, 데이터를 삽입하다가 이 값의 범위를 벗어나게 되면, 데이터를 삽입할 수 없게 된다. 그래서 이러한 픽셀들의 위치를 표현해 주기 위해서 위치지도(location map)가 필요하다. 이 위치지도 없이는 디코더가 어떤 픽셀에 데이터가 숨겨졌는지 구분 할 수 없다. 위치지도는 0과 1로 구성된 이진영상으로 압축 없이 사용시에는 최대 0.5 bpp의 크기를 요구한다. 그래서 가역 워터마킹은 이러한 위치지도의 크기를 줄이는 방향으로 발전되기 시작되었다. JBIG2를 이용한 압축도 그 중에 한 방법이었다[2].

2. 차분값에 대한 정렬

Kamstra와 Heijmans의 [3] 방식도 Tian과 같이 두 픽셀을 한 개의 셀로 사용하고 그 안에 한 비트씩 숨기는 방식인데, 한 셀의 평균값(a)과 주변 셀들의 평균값들 사이의 상관계수를 구하였다. 이 상관계수 값은 데이터를 삽입한 뒤에도 그 셀의 평균값은 변하지 않는다는 특징을 이용한 것이다. 그래서 가역성을 확보할 수 있게 된다. 이 상관 계수를 사용해서, 위치지도를 정렬시키게 되면, JBIG2 압축기법의 압축률을 증가시킨다. 또한 이 상관계수를 이용해서 차분값이 작은 셀부터 큰 셀까지 정렬하는데 성공하였다. 이를 통해서 차분값이 작은 셀부터 데이터를 삽입할 수 있게 되었다. 차분값(h)이 작은 셀에 데이터를 많이 삽입하면, 차분값이 큰 셀에 데이터를 삽입하는 것보다 왜곡을 현격히 줄일 수 있게 된다.

이 방법들을 통해서 위치지도의 크기가 줄어들므로, 그만큼 더 많은 데이터를 숨길 수 있게 되었고, 이미지의 왜곡도 크게 줄어들었지만, 여전히 한 쌍을 셀로 사용했으므로, 삽입용량은 최대 0.5 bpp를 넘을 수 없었다.

3. 셀 당 픽셀

Altattar는 [4] 3개의 픽셀을 한 개의 셀로 만들어 거기다가 2비트를 숨기거나, 4개의 픽셀을 한 개의 셀로 만들어 거기다가 3개의 비트를 숨기는 방식을 만들었다. 이를 통해서 위치지도의 크기도 0.3 bpp, 0.25 bpp로 각각 줄일 수 있게 되었다. 이를 통해 삽입 용량도 증가되었다.

4. 예측 오류값과 히스토그램 이동

Thodi와 Rodriguez는 [5] JPEG-LS 예측 오류 기법을 사용한다. JPEG-LS는 한 개의 픽셀 밝기 값에 대한 예측값을 그 픽셀을 둘러싼 3개의 픽셀을 통해서 구해내는 방식이다. 이렇게 구해진 픽셀값 x에 대한 예측값이 \hat{x} 라고 했을 때, 예측 오류값(prediction error) d는 (7)식과 같고, (8)식과 같이 데이터가 삽입된다.

$$d = x - \hat{x} \tag{7}$$

$$D = 2d + bit \tag{8}$$

이 방식은 앞선 기법들처럼 픽셀쌍의 차이를 사용하는 것이 아니라, 그 픽셀값과 주변값들을 이용한 예측값과의

차이를 이용하므로, 모든 픽셀에 데이터를 삽입할 수 있다. 그러므로 이론상 최대 1 bpp의 삽입 용량을 갖게 된다. 그러나 이 문제가 해결되려면, 삽입 후 밝기값이 같아진 픽셀들을 구분해 주기 위해 필요했던 위치지도의 크기를 줄이는 것이 관건이었다.

Thodi와 Rodriguez는 이 문제를 해결하기 위해 히스토그램 이동 기법을 사용하였다. Tian의 차분 확장 기법은 그림1과 같이 차분값이 0인 경우 1비트를 삽입하게 되면, 1이 되는데, 이 때, 원래 차분값이 1인 픽셀들과 데이터가 삽입되어 1이 된 픽셀들 사이에 구분을 해주기 위해 위치지도가 필요하게 된다.

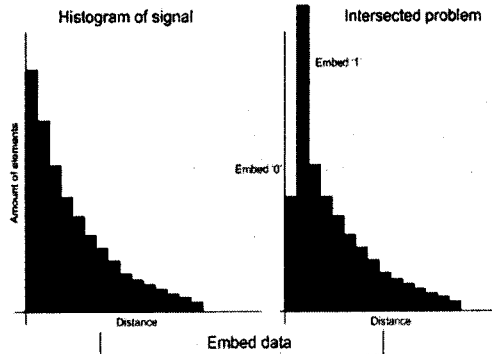


그림 1. 차분 확장 기법(중복된 차분값에 대해 위치 지도가 필요)

그러나 그림 2와 같이 히스토그램 이동 기법을 쓰게 되면, 경계값(Threshold)이 1이라고 했을 때, 예측 오류 값이 2이상인 픽셀들은 모두 전체적으로 이동시키고, 1인 경우만 데이터를 삽입한다. 이 때 값이 겹치는 픽셀들이 생기지 않으므로, 위치지도가 필요없게 된다. 물론, 이 경우에도, 픽셀 밝기 값이 0 이하이거나 255 이상인 경우를 위해서 위치지도가 필요하지만, 이 경우의 위치지도 양은 그리 크지 않다.

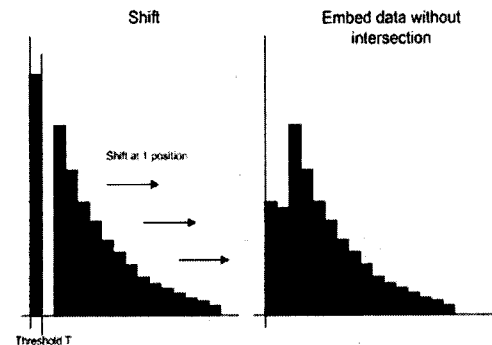


그림 2. 히스토그램 이동 기법

이와 같이 Thodi와 Rodriguez의 기법은 예측값을 이용하여 최대 삽입 용량을 1 bpp로 만들어 냈고, 히스토그램 이동을 사용하여 위치지도도 현격히 줄일 수 있게 되었다. 그러나 이 방법은 Kamstra가 제시한 정렬을 사용할 수 없다. 왜냐하면, JPEG-LS를 이용하여, 예측 오류 값을 얻을 때, 주위 3개의 픽셀을 사용하는데, 값이 변형되면, 변형된 값을 이용하기 때문에, 정렬을 해버리면, 나중에 디코딩 시에, 원래 순서대로 재정렬 시킬 방법이 없다.

5. 예측 오류값 이용과 정렬의 응용

Vasiliy는 [6] Thodi와 Rodriguez의 예측 오류 기법과 Kamstra의 정렬 기법을 동시에 사용할 수 있는 기법을 고안해 냈다. 이것을 통해서 삽입 용량을 상승시키는 동시에, 이미지 왜곡까지 크게 줄일 수 있었다. 이 기법은 데이터를 삽입할 때에, X 세트와 •로 분리한다. 인코딩 시에는 X세트, •세트, 디코딩 시에는 •세트, X세트 순서로 실행하게 된다.

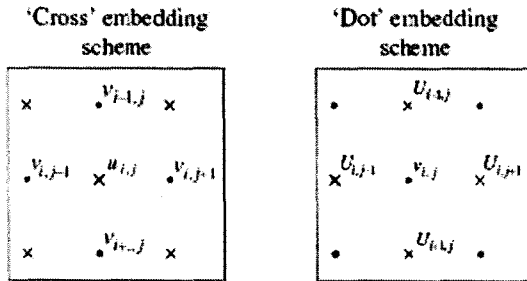


그림 3. X 세트와 • 세트

예측값은 식 (9)과 같이 룬부스(Rhombus)기법을 이용하여, X세트의 주변에 있는 4개의 •세트 픽셀값의 평균값을 통해 구한다.

$$u_p = \lfloor \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4} \rfloor \quad (9)$$

$$d_{i,j} = u_{i,j} - u_p \quad (10)$$

식 (10)을 이용하여 위와 같이 d값을 구할 수 있고, 이 값을 이용하여, 데이터를 삽입할 수 있게 된다. 그림 3을 보면, 이렇게 u값들에 데이터를 삽입한 뒤의 값을 U라고 표시되는 것을 볼 수 있다. 그리고 v의 주위에 4개의 U를 이용하여, 예측 오류 값을 구하고, 데이터를 삽입할 수 있게 된다.

정렬기법은 각 픽셀 마다 주위의 4개의 픽셀값을 이용하여 상관계수 값을 구하는 것이다. 이렇게 주위 4개의 픽셀을 통해서 얻어진 상관계수 값이 크다는 것은 예측 오류 값(d)이 클 가능성이 높다는 뜻이고, 상관계수 값이 작다는 것은 그 반대 의미이다. 이렇게 상관계수 값대로 각 픽셀을 정렬하게 되면, 예측 오류 값이 작은 값부터 데이터를 삽입할 수 있기 때문에 왜곡을 줄이는데 큰 효과가 있다. 현재까지 Vasiliy의 예측과 정렬을 사용한 가역 워터마킹 기법은 같은 삽입 용량에 대해서 가장 높은 PSNR을 보유한 기술이다.

6. 최적화된 히스토그램 이동

Guorong은 [7] 히스토그램 이동을 최적화시켰다. Guorong은 이 기법을 정수 웨이블릿 변환의 데이터 삽입 기술로 사용하였다. 일반적인 히스토그램 이동 기법은 양의 경계값 T_p , 음의 경계값 T_n 을 정하면, T_n 과 T_p 사이의 d값들은 모두 데이터를 삽입하여 확장 시키고, 그 범위를 벗어나는 d값들은 이동(shift)만 시켜주는 방식이다. 그러나

Guorong의 방법은 경계값 T와 범위값 S를 사용한다. 그래서 경계값 T부터 T+1에서 데이터 삽입이 이루어지고, 경계값 전 영역은 아무런 변화가 없다. 즉 $T=3, S=2$ 라고 하면, 양의 범위(0보다 크거나 같은 범위)에서 세 번째, 네 번째 d값인 $d=2, d=3$ 인 경우와 음의 범위(0보다 작은 범위)에서 세 번째, 네 번째 d값인 $d=-3, d=-4$ 에서 데이터 삽입이 일어난다. $d=-2, d=-1, d=0, d=1$ 인 경우에는 아무 변화도 일어나지 않고, $d=-5$ 이하와, $d=4$ 이상에서는 데이터 삽입 없이 이동(shift)만 이루어진다. 이러한 과정을 통해서, 같은 용량의 데이터를 삽입할 때, 변화되지 않는 픽셀들이 많이 생기게 되므로, 왜곡을 줄일 수 있게 된다.

III. 제안된 알고리즘

본 논문에서는 Vasiliy의 방식대로 예측과 정렬을 사용하고, 데이터를 삽입할 시에는 Guorong의 최적화된 히스토그램 이동을 적용할 수 있도록 적절히 변형시켰다.

먼저 이미지를 X세트와 •세트로 나누어서, 룬부스(Rhombus)기법으로 예측값을 구하고, 이를 통해 얻게 된 예측 오류 값을 상관계수 값을 이용하여 정렬시킨다. 정렬된 예측 오류 값들에 대해서 삽입하고자하는 데이터 양에 맞게 양의 경계값 T_{p1}, T_{p2} , 음의 경계값 T_{n1}, T_{n2} 를 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 통해서 찾아낸다. 아래 그림 4의 오른쪽 히스토그램과 같이 최적화된 히스토그램 이동을 사용하면, 전혀 변화가 없는 부분($d=0, d=1, d=2$)이 생기게 되고, 이에 따라 왜곡의 크기가 작아지게 된다.

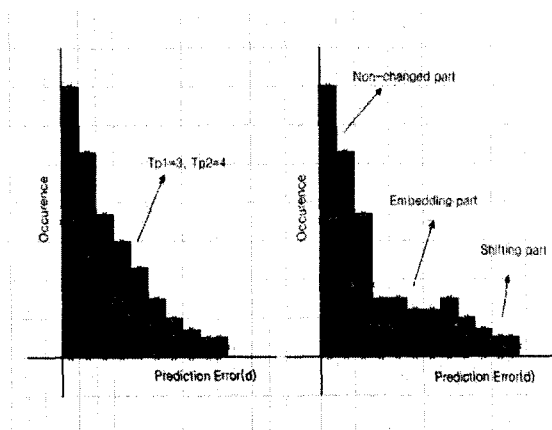


그림 4. 최적화된 히스토그램 이동($T_{p1}=3, T_{p2}=4$)

예측 오류 값 d가 (11)식을 만족하면, 이 d값들은 데이터를 삽입할 수 있는 삽입 가능 세트가 된다.

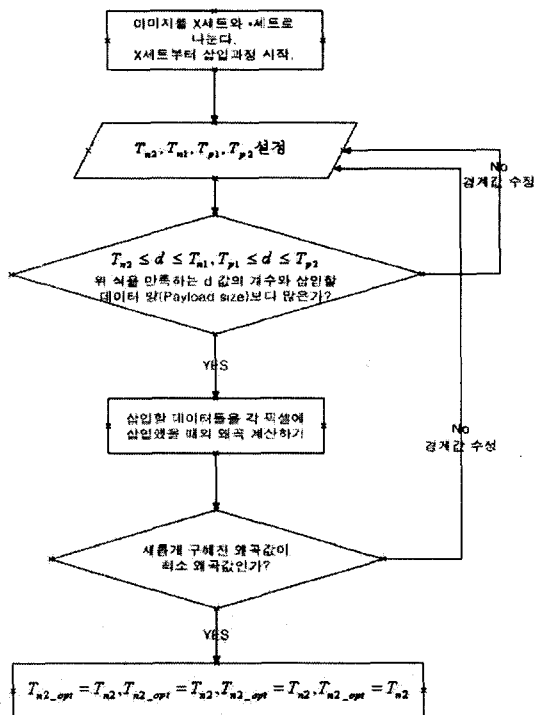
$$T_{n2} \leq d \leq T_{n1}, T_{p1} \leq d \leq T_{p2} \quad (11)$$

예를 들면, 그림 4에서는 $T_{p1}=3, T_{p2}=4$ 인데, $d=3$ 은 $D=3$ (0 삽입) 또는 $D=4$ (1 삽입), $d=4$ 는 $D=5$ (0 삽입) 또는 $D=6$ (1 삽입)이 된다. 그래서 $D=3, 4, 5, 6$ 이 데이터가 삽입된 부분(Embedding part)이 된다.

본 논문에서는 삽입할 용량에 맞게 경계값을 최적화하기 위한 알고리즘을 만들었고, 이를 통해서, 삽입 용량에 딱 맞고, 왜곡은 가장 작도록 $T_{p1}, T_{p2}, T_{n1}, T_{n2}$ 를 적절히

얻어낼 수 있다. 또한 X세트와 •세트에 따라 최적화된 경계값은 조금씩 달라지는데, 이 알고리즘을 통해서 이 값들도 찾아낼 수 있었다.

그림 5를 보면 처음에 X세트와 •세트를 나누는데, X세트에서 경계값들을 다 찾은 후에는 •세트에 대한 경계값들을 찾는 방식으로 진행된다. 여기서 측정하는 왜곡값이란, 데이터가 삽입된 이미지 픽셀의 밝기값과 원본 픽셀의 밝기값의 차이의 제곱을 구한 값이다. 이 값을 평균 오차 제곱합(Mean squared error, MSE)이라고 부른다. 이미지의 왜곡 정도를 비교하기 위해 쓰이는 척도인 PSNR(peak signal noise ratio)값은 이 MSE와 반비례한다. 그래서, 이렇게 경계값을 각각 1씩 변화시켜 가면서 MSE를 측정하고, 최소로 나왔을 때의 경계값을 저장시켜, 최적화된 경계값을 찾는다. 이렇게 찾은 경계값을 이용하여 데이터를 삽입한 뒤에는, •세트에 대해서도 반복해 준다.



IV. 실험 결과 및 분석

그림 6과 그림 7을 통해서 Lena와 Barbara 이미지에서 제안된 기법과 현존하는 대표적인 가역 워터마킹 기법들의 성능을 비교하였다.

이 논문에서 제안된 기법은 Vasiliy의 예측과 정렬기법을 기반으로 하였기 때문에, 기본적으로 다른 기법들보다 월등한 성능을 보였고, 최적화된 히스토그램 이동 기법을 사용해서 0.5 bpp 아래에서는 Vasiliy의 결과보다 더 좋은 결과를 얻어낼 수 있었다. 대용량에서도, 일반적인 히스토그램 이동 기법을 사용하는 Vasiliy의 PSNR값보다 더 좋은 결과를 얻어내긴 했지만, 아주 근소한 차이이다. 최적화된 히스토그램 이동이 효과를 발휘하기 위해서는 삽입하고자

하는 데이터 양이 충분히 적어서, 그림 4에서 나온 것 같이 변화되지 않는 픽셀의 양이(Non-changed part)이 많아야 한다. 이와 같이 삽입하고자 하는 데이터 양이 적을 때는 일반적인 히스토그램 이동 방식은 $d=-1, 0, 1$ 에서 데이터를 다 삽입해 버리게 된다. 그렇게 되면, 그 뒤에 있는 대부분의 픽셀들은 데이터 삽입과 관여하지 않지만, 히스토그램이 전체적으로 이동하게 되므로, 화질저하가 심한 것이다. 최적화된 히스토그램 이동은 이러한 비효율성을 개선해준다.

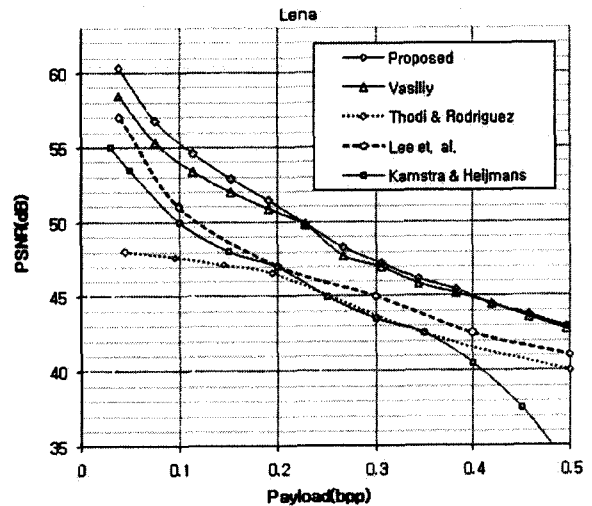


그림 6. 이미지 Lena에 대한 PSNR

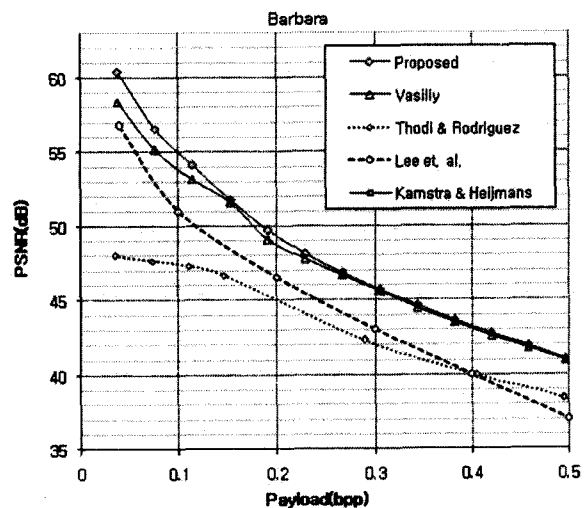


그림 7. 이미지 Barbara에 대한 PSNR

V. 결론

현존하는 가역 워터마킹 기술 중에 가장 뛰어난 성능을 갖고 있는 것은 예측과 정렬을 동시에 사용하는 기법이다. 그러나 예측 오류값에 대해 최적화된 히스토그램 이동 기법으로 데이터를 삽입하면, 더 좋은 결과를 얻어낼 수 있다. 특히 이 기법의 특성상, 0.5 bpp이하의 적은 용량에서 그 효과가 크다. 결론적으로 예측을 사용하고, 예측 오류값

을 정렬을 시키고, 히스토그램 이동을 최적화하여 데이터를 삽입했을 때, 현존하는 가장 뛰어난 성능을 가진 가역 워터마킹 기법이 된다는 것을 보였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국 산업 기술 평가 관리원의 IT 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. (2008-F-036-02, 익명성 기반의 u-지식 정보보호기술개발)

[참고 문헌]

[1] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no.8, pp. 890-896, 2003.

[2] P. G. Howard, F. Kossentini, B. Martins, S. Forchhammer, and W. J. Rucklidge, "The emerging JBIG2 standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 8, no. 7, pp. 838-848, 1998.

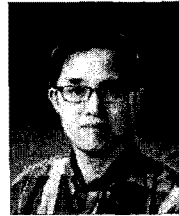
[3] L. H. J. Kamstra, A. M. Heijmans, "Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2082-2090, 2005

[4] A. M. Alattar, "Reversible watermark using difference expansion of triplets," *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. 501-504, 2003.

[5] D. M. Thodi, and J. J., Rodriguez, "Reversible watermarking by prediction-error expansion," *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, Lake Tahoe, CA*, pp. 21-25, 2004.

[6] Vasilij Sachnev, Hyung Joong Kim "Reversible Watermarking Algorithm Using Sorting and Prediction" *IEEE Transaction on Circuit System and Video Technology*. Accepted to publish.

[7] Guorong Xuan, Yun Q. Shi "Optimum Histogram Pair Based Image Lossless Data Embedding" *Lecture Notes in Computer Science 5041*, pp. 264-278, 2008

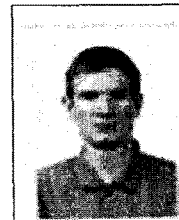


김형중

1978년 서울대학교 제어계측공학과 졸업
 1986년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사)
 1989년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)
 1990년~2006년 강원대학교 교수
 2007년~현재 고려대학교 정보경영공학전문대학원 교수

<관심분야> Watermarking, Parallel Computing, Image Hashing, Data Compression, Steganography

<e-mail> khj@korea.ac.k



Sachnev Vasilij

2002년 Komsomol-na-Amure State Technical University 전기공학과 졸업
 2004년 Komsomol-na-Amure State Technical University 전기공학과 졸업 (공학석사)

2009년 고려대학교 정보경영공학전문대학원 졸업(공학박사)

2009년~현재 고려대학교 정보경영공학전문대학원 연구 교수

<관심분야> Reversible Watermarking, Steganography, Machine Learning, Visible Reversible Watermarking

<e-mail> bassvasys@hotmail.com



황희준

2008년 고려대학교 전기전자전파과 졸업
 2008년~현재 고려대학교 정보경영공학전문대학원 석사과정 재학중

<관심분야> Reversible Watermarking, Steganography, Data Hiding, Visible Reversible Watermarking

<e-mail> ksteiner@korea.ac.kr