

개선된 히스토그램 변형에 기반한 리버서블 워터마킹 기법

황진하*, 김종원*, 최종욱*

*상명대학교 디지털저작권보호연구소

e-mail : auking45@smu.ac.kr

Reversible Watermarking Based on Advanced Histogram Modification

Jin-Ha Hwang*, Jong-Weon Kim*, Jong-Uk Choi*

*Copyright Protection Research Institute, Sangmyung University

요 약

본 논문에서는 이미지 인증을 위해 삽입한 워터마크로 인해 발생한 영상 정보의 손실을 워터마크 추출 후 제거하여 원영상으로 복원할 수 있는 리버서블 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 Lee.S.K.[4]의 알고리즘이 지니는 플립 현상을 제거하기 위해 Location Map 을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 알고리즘은 평균 52.06dB 의 PSNR 을 보여 우수한 비가시성을 나타냈으며, 6k~30k bits 의 높은 정보 삽입량을 보여 이미지 인증 응용에 적합함을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 우리 사회에는 디지털 컨버전스와 유비쿼터스의 개념이 확산되면서 디지털콘텐츠에 대한 관심이 높아가고 있다. 언제 어디서나 다양한 디지털콘텐츠를 접할 수 있는 유비쿼터스 환경이 다가오면서 콘텐츠 업계도 회심의 미소를 짓고 있다. 유비쿼터스의 핵심에 디지털콘텐츠가 놓여 있기 때문이다. 하지만 점차 시공간의 제약과 디지털콘텐츠를 소비할 수 있는 디바이스의 제약이 사라지면서 디지털콘텐츠의 불법 유통이나 복제가 사회의 커다란 화두가 되고 있다. 이에 따라 최근 콘텐츠의 불법 복제 및 유통을 차단할 수 있는 DRM(Digital Rights Management) 기술이 커다란 관심을 받고 있다. DRM 은 콘텐츠를 암호화함으로써 콘텐츠가 불법 유통되더라도 라이선스를 소유하지 않은 사용자는 콘텐츠를 사용할 수 없게 만드는 기술이다. 이처럼 DRM 은 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 디

지탈 워터마킹은 비가시성을 만족시키기 위해 디지털 콘텐츠의 정보를 사람들이 인지할 수 없을 정도로만 변경을 수행하여 저작권을 보호하였지만, 디지털콘텐츠의 원래 정보를 복원할 수는 없었다. 하지만 의료나 군 관련 영상 등 원영상에서의 조그만 정보 손실이 큰 영향을 미치는 응용 분야에서는 삽입된 저작권 정보 추출 후 원영상을 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]. 대부분의 워터마킹 기법과 마찬가지로 리버서블 워터마킹 기술도 크게 공간 영역에서 삽입하는 방법[1-4]과 변환 영역에서 삽입하는 방법[5, 6]으로 구분할 수 있다. 공간 영역 삽입 기법 중 Lee.S.K.[4]가 제안한 방법은 이미지 내에서 인접한 픽셀의 값은 거의 비슷하다는 특성을 이용하여 차영상을 구한 후 히스토그램이 -1 또는 1 인 위치에 워터마크를 삽입하는 히스토그램 조절 기법이다. 이 기법은 Z. Ni[3]의 기법이 가지는 오버헤드 문제를 해결하여 51.14dB 이상의 우수한 비가시성을 보이면서 높은 삽입량을 나타내었다. 그러나 이 기법은 오버플로우를 발생시키는 문제점을 지니고 있다. 그래서 이 논문에서는 모듈로 연산을 적용하여 오버플로우 문제

를 해결하였으나 모듈로 연산을 거쳐 플립된 픽셀들에 의해 Salt & Pepper 잡음 현상을 보였다. 본 논문에서는 히스토그램의 변형을 통해 정보를 삽입하며, Lee.S.K.의 기법에서 발생한 문제점을 해결하는 리버서블 워터마킹 기법을 제안한다.

본 논문의 2 장에서는 제안한 리버서블 워터마킹 알고리즘에 대해 서술하며, 3 장에서는 제안한 워터마킹 기법에 대한 실험 결과 및 성능을 분석하고, 4 장에서는 결론을 맺는다.

2. 제안한 리버서블 워터마킹 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 영상의 대부분이 인접한 픽셀끼리는 차이가 거의 없다는 특징을 이용하여 홀수행과 짝수행 간의 차영상을 구한 후 히스토그램 값이 -1 또는 1 인 위치에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 차영상만으로 삽입할 위치를 결정하기 때문에 원영상의 픽셀 값에 따라 오버플로우를 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 Location Map 을 생성하여 함께 삽입함으로써 이 문제를 해결하였다.

2.1. Location Map

제안한 알고리즘에서는 오버플로우 문제를 해결하기 위해 오버플로우를 발생시킬 수 있는 픽셀의 위치 정보를 저장하는 Location Map 을 생성한다. <그림 1>은 본 논문에서 제안한 Location Map 의 구조를 나타낸다.

| Count of 0 | Count of 255 | Point of 0 (X, Y) | ... | Point of 255 (X, Y) | ... | Watermark |
|------------|--------------|-------------------|-----|---------------------|-----|-----------|
| 0 | 9 | 18 | 36 | ... | ... | ... |
| Option | | | | | | |

<그림 1> Location Map 구조도

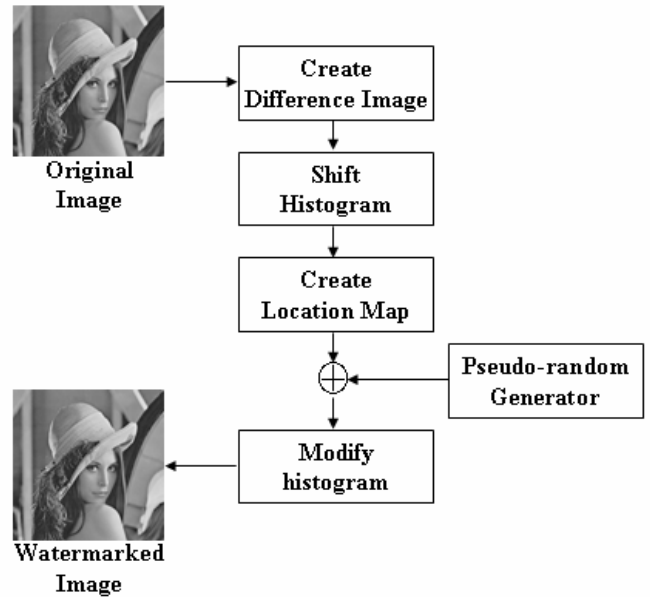
Location Map 은 차영상에 의해 결정된 삽입 위치에 있는 0 의 개수, 255 의 개수, 0 의 값을 갖는 픽셀의 X, Y 좌표, 255 의 값을 갖는 픽셀의 X, Y 좌표로 구성되어 있다. 0 과 255 의 개수를 나타내는 필드는 거의 모든 영상에서 512 개를 넘지 않기 때문에 각각 9 비트로 표현하였다. 그 뒤로 0 과 255 의 값을 갖는 픽셀의 위치 좌표를 저장하기 위해 각 18 비트씩을 할당하는데 이 필드는 부가 정보로써 삽입 위치에 있는 픽셀이 0 과 255 의 값을 가지지 않는 경우는 Location Map 에 포함되지 않는다. Location Map 을 워터마크와 함께 삽입함으로써 실제 정보의 삽입량은 조금 줄어들지만 오버플로우 문제를 해결함으로써 Salt & Pepper 잡음 현상을 제거할 수 있다.

2.2. Embedding Algorithm

<그림 2>는 제안된 알고리즘의 삽입 구조를 보여주고 있다. 삽입 알고리즘은 우선 홀수행과 짝수행 간의 차영상을 구한다.

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

D 는 원영상의 절반의 행을 갖는 차영상을 나타내며, I 는 원영상을 나타낸다.



<그림 2> 워터마크 삽입 구조도

차영상을 구한 후 차영상의 히스토그램이 -1 또는 1 인 위치에 정보를 삽입하기 위해 -2 또는 2 이상의 히스토그램을 이동시킨 후 다시 차영상을 구한다. I' 는 히스토그램이 변형된 영상을 나타내며, D' 는 변형된 영상의 홀수행으로 다시 계산한 차영상을 나타낸다.

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

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

그 후 Salt & Pepper 잡음 문제를 해결하기 위해 Location Map 을 생성하고, 랜덤하게 생성된 워터마크와 합하여 영상에 삽입할 Payload 를 생성한다.

$$P = L \cup W = p_1 p_2 \dots p_j \quad (3)$$

실제 삽입되는 Payload 는 $p_i \in \{0, 1\}, 1 \leq i \leq j$ 로써 j 는 p 의 비트 길이이고, W 는 삽입될 정보인 워터마크를 나타낸다.

Location Map 의 경우 차영상의 히스토그램이 2 보다 큰 경우는 $I(i, 2j + 1)$ 이 255 인 경우만 고려하면 된다. 255 일 경우 위치를 저장하면서 히스토그램을 변형시키지 않는다. 그렇기 때문에 다시 차영상을 구할 때 히스토그램이 2 인 값이 나오지 않게 하기 위하여 $I(i, 2j)$ 에서 1 을 뺀다. 이 경우 $I(i, 2j)$ 가 0 일 경우는 1 을 빼게 되면 오버플로우가 발생하기 때문에 0 의 위치를 저장하고 1 을 빼지 않는다. 이와 같이 해

당 조건에 부합하는 픽셀의 값은 변형시키지 않고 위치를 저장함으로써 오버플로우 발생이나 Salt & Pepper 잡음 현상없이 워터마크를 삽입할 수 있고, 추출 시 원영상의 복원이 가능해진다. 차영상의 히스토그램이 -2 보다 작은 경우는 위의 조건을 반대로 적용한다.

Payload의 삽입은 다음의 방법으로 이루어진다. P는 Location Map과 워터마크가 더하여진 Payload를 나타낸다.

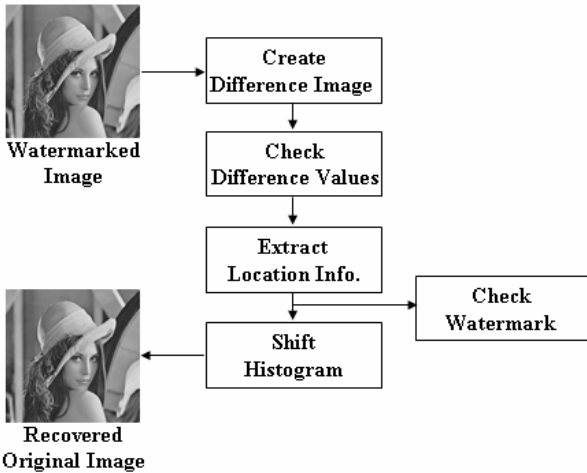
$$I'(i, 2j+1) = \begin{cases} I'(i, 2j+1)+1, & \text{if } D'(i, j) = 1 \& P(m, n) = 1 \\ I'(i, 2j+1)-1, & \text{if } D'(i, j) = -1 \& P(m, n) = 1 \\ I'(i, 2j+1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$I'(i, 2j) = I(i, 2j)$$

차영상의 값이 1 이고 Payload 값이 1 인 경우 해당 위치의 픽셀에 1 을 더하고 차영상의 값이 -1 이고 Payload 값이 1 인 경우는 해당 위치의 픽셀에서 1 을 빼고, 그 이외의 경우에는 픽셀의 값을 변형시키지 않음으로써 워터마크 삽입된 영상을 획득하게 된다.

2.3. Extracting and Recovery Algorithm

<그림 3>은 삽입된 워터마크의 추출 및 원영상의 복원 구조를 나타낸다.



<그림 3> 워터마크 추출 구조도

추출 알고리즘의 전체 구성을 보면 우선 워터마크가 삽입된 영상에서 홀수행과 짝수행 간의 차영상을 구한다. 차영상을 구한 후, 차영상의 픽셀 값을 스캔하면서 -1 또는 1 인 픽셀을 만나면 0 을 추출하고, -2 또는 2 인 픽셀을 만나면 1 을 추출함으로써 삽입된 Payload를 간단히 추출할 수 있다.

$$P(m, n) = \begin{cases} 0, & \text{if } D(i, j) = -1 \text{ or } 1 \\ 1, & \text{if } D(i, j) = -2 \text{ or } 2 \end{cases} \quad (5)$$

Payload 추출 후 원영상을 복원하는데 차영상을 스캔하면서 -2 보다 작은 픽셀을 만나면 홀수행에 1 을 더하고, 2 보다 큰 픽셀을 만나면 홀수행에 1 을 더함

으로써 1 차적으로 영상을 복원한다.

$$I_r(i, 2j+1) = \begin{cases} I(i, 2j+1)-1, & \text{if } D(i, j) \geq 2 \\ I(i, 2j+1)+1, & \text{if } D(i, j) \leq -2 \\ I(i, 2j+1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$I_r(i, 2j) = I(i, 2j)$$

영상의 1 차 복원을 마치면 Location Map에 저장된 0 과 255 인 픽셀의 위치를 찾아 2 차 복원을 수행하게 된다. Location Map에 저장된 0 과 255 인 값을 가지는 픽셀의 위치 중 짝수행의 경우 워터마크 삽입 과정에서 값이 변하지 않기 때문에 Location Map에 저장된 위치에 0 또는 255 값을 그대로 적용하면 되지만, 홀수행의 경우 값을 변경하였기 때문에 추가적인 계산을 수행해야 한다. 0 인 경우 홀수행에서 1 을 빼주고 255 인 경우 홀수행에서 1 을 더함으로써 원영상으로의 복원이 완벽하게 이루어진다.

3. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 알고리즘의 비가시성 및 삽입량을 확인하기 위하여 512×512 크기의 gray scale 영상을 실험 영상으로 사용하였다.



<그림 4> Original Image



<그림 5> Watermarked Image

<그림 4>와 <그림 5>는 각각 Lena 원영상과 워터마

크가 삽입된 영상을 나타내고 있는데 시각적으로 거의 구분할 수 없을 정도의 우수한 비가시성을 보이고 있다.

<표 1>과 <표 2>는 각각 Lee.S.K.가 제안한 알고리즘의 실험 결과와 본 논문에서 제안한 알고리즘의 실험 결과를 나타낸다. 실험 결과를 보면 PSNR 과 삽입량에서 비슷한 결과를 나타내고 있지만 Lee.S.K.의 알고리즘은 플립되는 픽셀들에 의해 뚜렷한 화질 저하를 나타내지만 제안한 알고리즘은 플립 현상없이 높은 PSNR 을 유지한다.

<표 1> Lee.S.K. 알고리즘의 실험 결과

| Test Images (512×512×8) | PSNR (dB) | Capacity (bits) | Overflow/Underflow (No. of pixels) |
|-------------------------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| Airplane | 58.78 | 30,487 | 0 |
| Baboon | 51.49 | 7,383 | 0 |
| Blood | 55.59 | 22,009 | 20 |
| Lena | 57.63 | 23,579 | 0 |
| Peppers | 55.74 | 17,280 | 2 |
| Sailboat | 55.55 | 14,391 | 0 |
| Tiffany | 52.50 | 26,004 | 83 |

<표 2> 제안한 알고리즘의 실험 결과

| Test Images (512×512×8) | PSNR (dB) | Capacity (bits) | Overflow/Underflow (No. of pixels) |
|-------------------------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| 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 |

4. 결론

본 논문에서는 Lee.S.K.가 제안한 차영상의 히스토그램을 변경하여 워터마크를 삽입하고 추출하는 리버서블 워터마킹 알고리즘의 Salt & Pepper 잡음 문제를 해결하기 위해 Location Map 을 이용한 기법을 제안하였다. Location Map 을 이용함으로써 Lee.S.K.의 알고리즘에서 발견되는 뚜렷한 화질 저하를 제거함으로써 높은 PSNR 을 유지할 수 있었으며, 삽입량에서도 동일한 수준의 성능을 유지할 수 있었다. 실험 결과 평균 52.06dB 의 PSNR 을 보여 우수한 비가시성을 나타냈으며, 6k~30k bits 의 높은 정보 삽입량을 보여 이미징 인증 응용에 적합함을 확인할 수 있었다. 또한 본 알고리즘은 Salt & Pepper 잡음 문제를 해결함으로써 반복적인 정보 삽입을 통해 삽입량을 추가로 늘릴 수 있다.

참고문헌

- [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] Z. Ni, Y. Q. Shi, N. Ansari, and S. Wei, "Reversible data Hiding," in ISCAS Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems, vol. 2, pp. II-912-II-915, Thailand, May 2003
- [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," 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," IEE Electronics Letters, pp. 1646-1648, Dec. 2002
- [7] J. Tian, "High capacity reversible data embedding and content authentication," in IEEE Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 3, pp. III-517-20, Hong Kong, Apr. 2003
- [8] J. Tian, "Wavelet-based reversible watermarking for authentication," in Proceedings of SPIE Sec. and Watermarking of Multimedia Cont. IV, vol. 4675, Jan. 2002.
- [9] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Reversible data hiding," in Proc. Of the IEEE International Conference on Image Processing, vol. II, pp. 157-160, Sept. 2002