

무손실 데이터 은닉의 삽입 용량 증진을 위한 키 파라미터 개선 기법

*정희 **강지홍 ***최윤식

연세대학교

*hee.jeong@yonsei.ac.kr

A Study on Improvement To The Key Parameter For High Real Capacity Of Lossless Data Hiding

*Jeong, Hee **Kang, Ji-Hong ***Choe, Yoon-Sik

Yonsei University

요약

본 논문은 무손실 데이터 은닉 기법중 주변 화소의 통계적 특성을 이용하여 어떠한 추가적인 맵 정보 없이 키 파라미터로써 원본 영상과 삽입한 데이터를 정확히 분리해 내는 기법이다. 오버/언더 플로우에 더 강한 데이터 은닉을 위해, 데이터 삽입에 대한 변수로 작용할 수 있는 주변 화소값들의 범위 뿐만 아니라 주변 화소값들의 표준 편차와 평균값을 모두 키 파라미터의 인자로 사용하여 화소값이 낮은, 즉 영상의 밝기가 어두운 부분에 더 많은 데이터를 삽입할 수 있는 기법을 제안하였고, 실험을 통하여 기존 기법 대비 평균 2배 이상의 삽입 용량이 증진된 것을 확인하였다.

1. 서론

데이터 은닉 기법이란 미디어에 어떤 임의의 데이터를 삽입하여 숨기는 것을 의미하며, 크게 무손실 기법과 손실 기법으로 나뉜다. 이 중 손실 기법은 복원한 결과가 원본과 크게 상관이 없도록 데이터를 숨기는 기법을 말한다.[1] 반면, 무손실 기법이란 원본 데이터와 숨겨진 데이터를 손실없이 복원할 수 있는 것을 의미하며, 복원시 데이터를 숨긴 위치를 알게 하기 위해 맵을 이용하는 방법[2]과 키 파라미터를 전달하는 방법[3, 4] 이 있다.

무손실 기법을 이용하는 다양한 응용 분야가 있는데 주요하게, 데이터의 정확도를 요구하는 의료 영상이나 군에서 사용하는 영상 그리고 저작권이 중요한 예술분야에서 사용 가능하다. 이러한 방법을 적용함에 있어서 몇가지 제약 사항이 있는데 그 내용은 다음과 같다. 첫째, 데이터 삽입 후 영상이 너무 많은 왜곡이 발생하지 않아야 한다. 둘째, 데이터 삽입 시 오버/언더 플로우가 발생하면 안 된다. 셋째, 복원 시 원본 영상과 삽입된 데이터가 어떠한 왜곡없이 정확히 복원되어야 한다. 마지막으로 넷째, 삽입 후 영상이 너무 많이 왜곡되지 않으면서 가능한 많은 데이터를 삽입할 수 있어야 한다. 따라서 인간의 시각 시스템에 의해 왜곡을 인지하지 않는 정도로 위의 제약 사항을 만족하며 데이터를 많이 삽입할 수 있는 것이 좋은 데이터 은닉 기법이라고 할 수 있다.

그 중 [3, 4]에서 제안하는 방법은 공간 도메인에서 영상을 3x3 블록으로 나누어 주변 화소의 값을 이용하여 키 파라미터를 생성하여 이를 이용해 데이터를 삽입하고 복원하는 방법이다. 이러한 방법을 이용하면 맵을 저장하기 위한 대량의 메모리가 필요하지 않고 키 파라미터 하나를 전송하는 것으로써 원본 영상을 복원 가능하고 삽입된 데이터를 추출할 수 있다. 그러나 이러한 방법의 경우, 그림 1.에서 보는 바와

같이 짝수번째의 행과 열을 가진 위치에 대해서만 데이터 삽입이 가능하므로 데이터를 삽입할 수 있는 최대 용량이 식(1)과 같이 전체 영상의 1/4 정도로 극히 제한적이 된다.

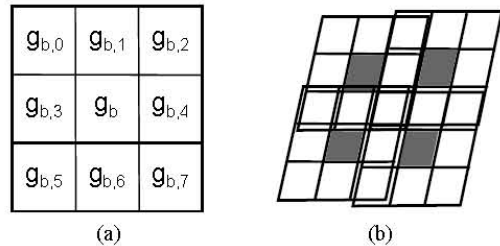


그림 1. (a) 3x3 블록, (b) 주변 화소값을 변화시키지 않기 위한 데이터 삽입 위치와 그에 대한 오버랩된 처리 블록

$$B = \left\lfloor \left(\frac{X-1}{2} \right) \right\rfloor \left\lfloor \left(\frac{Y-1}{2} \right) \right\rfloor \quad [bits] \quad (1)$$

한편, [5]의 방법에서는 이러한 제한적인 최대 삽입 용량을 증가하기 위해 무빙윈도우 기법을 사용하였으며 이 방법에 의해 최대 데이터 삽입 용량은 각각 가장자리 1라인을 제외한 거의 원본 영상과 비슷한 정도로 증가하게 된다. 그러나 이 방법에서는 최대 삽입 용량은 증가시킨 반면 실제로 삽입하는 데이터 용량까지 증진시키지는 못했다. 따라서 본 논문에서는 키 파라미터를 개선하는 것으로 실제 삽입 데이터 용량을 증가시키는 기법을 제안하였다.

2. 본론

본 방법은 무빙 윈도우 기법을 이용한 [5]의 방법에 기초하여 키 파라미터를 이용해서 실제 삽입 용량을 증진하도록 한다. [5]는 그림

2에서 보는 바와 같이 래스터 스캔 순서를 이용하여 데이터 삽입을 하고 복원 시에는 그의 반대 방향으로 진행하면서 원본 영상의 복원과 삽입된 데이터를 추출하는 방식으로, 이렇게 함으로써 이상적인 최대 데이터 삽입 용량은 3x3 블록이 한 화소씩 옆으로 이동할 때마다 가운데 화소에만 데이터를 삽입하도록 하여 각각 가장자리 1 라인을 제외한 거의 원본 영상과 비슷한 정도로 늘릴 수 있게 된다. 따라서 최대 데이터 삽입 용량은 식(2)와 같이 된다.

$$B = (X-2)(Y-2) \quad [bits] \quad (2)$$

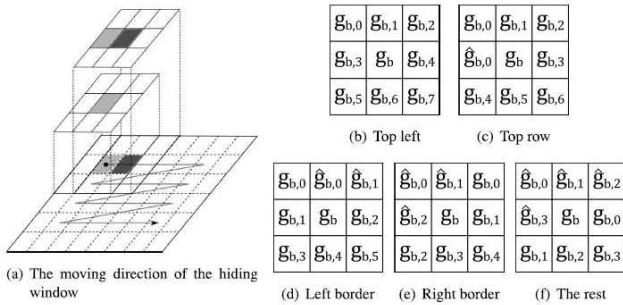


그림 2. (a) 데이터 삽입 순서 (b)-(f) 각 블록 위치별 데이터 삽입 시 이미 삽입된 데이터와 원본 영상의 위치[5]

한편, 이 방법에서 무빙 윈도우를 적용하는 것 외에 데이터 삽입을 위한 키 파라미터로써 아래의 식(3)과 같이 기존의 [4]의 값을 그대로 적용하기 때문에 주변 화소값들의 범위만을 키 파라미터의 요인으로 삼고 있다, 그러나 주변 화소값들의 범위만으로는 실제 오버/언더플로우는 발생하지 않는 경우를 정확히 분리해 낼 수 없어서 실제 데이터를 더 삽입할 수 있는 경우에도 삽입하지 못하는 문제가 발생한다.

$$s = \min u_b, \quad u_b = g_{\max,b} - g_{\min,b} \quad (3)$$

$$\text{where } (g_b + 2d_b < 0 \text{ or } 2^k - 2 < g_b + 2d_b)$$

이러한 관찰을 바탕으로 삽입하는 데이터의 특성을 살펴본 결과, 데이터를 삽입할 시에 \tilde{g}_b 값 또한 오버/언더플로우가 발생하는 것과 무관하지 않음을 알 수 있다. 다음에서는 본 논문에서의 키 파라미터를 유도하고 데이터를 삽입하는 과정을 알아보기로 한다.

2.1 키 파라미터의 유도와 데이터 삽입 과정

데이터 삽입 전의 원본 영상을 f 라 하고, 키 파라미터를 s , 삽입하고자 하는 메시지 비트를 w_n , 3x3 블록의 중심 화소값을 g_b 라 하고 다음의 과정을 따른다.

Step1. $s := 2^k - 1$

Step2. $b := 0, n := 0, \text{update_flag} := 0$

Step3. 주변 화소값들의 평균값을 구하고 그와 삽입하고자 하는 위치의 삽입 전 원본 화소값의 차를 구한다. 여기서, p는 블록 내 삽입에 의해 변경되지 않은 원본 화소값의 개수이고, q는 블록 내 삽입에 의해 이미 변경된 화소값의 개수를 의미한다.

$$\bar{g}_b = \left[\frac{1}{8} \left(\sum_{i=0}^{p-1} g_{b,i} + \sum_{j=0}^{q-1} \hat{g}_{b,j} \right) \right] \quad (4)$$

$$d_b = g_b - \bar{g}_b \quad (5)$$

Step4. 블록내 주변 화소들의 표준 편차 δ_b 를 구하고 삽입 기저인 \tilde{g}_b ,

주변 화소값들의 범위 u_b 를 구한다.

$$\delta_b = \sqrt{\frac{1}{8} \left(\sum_{i=0}^{p-1} (g_{b,i} - \bar{g}_b)^2 + \sum_{j=0}^{q-1} (\hat{g}_{b,j} - \bar{g}_b)^2 \right)} \quad (6)$$

$$\tilde{g}_b = \bar{g}_b + 2 \times \text{round} \left((2 + \delta_b) \left(1 - \frac{\bar{g}_b}{2^{k-1}} \right) \right) \quad (7)$$

$$u_b = g_{\max,b} - g_{\min,b} \quad (8)$$

단, k는 화소값을 표현하는 비트수,

$$g_{\max,b} = \max_i g_{b,i}, \quad g_{\min,b} = \min_i g_{b,i} \quad (i = 0, 1, \dots, 7)$$

Step5. s의 후보군은 다음에 의해 얻어질 수 있다.

$$r_b = \tilde{g}_b \times u_b \quad (9)$$

If ($r_b < s$) and ($\tilde{g}_b + 2d_b < 0$ or $2^k - 2 < \tilde{g}_b + 2d_b$), then, $s = r_b$, $\text{update_flag} = 1$, and go to Step7

Step6. 데이터 삽입은 식(11)에 의해 수행된다.

$$\hat{g}_b = \begin{cases} \tilde{g}_b + 2d_b + w_n, & r_b < s \text{ and } 0 \leq \tilde{g}_b + 2d_b \leq 2^k - 2 \\ \tilde{g}_b, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

w_n 을 삽입후, $n := n + 1$.

Step7. $b := b + 1$. If $b < B$, then go to Step 3.

Step8. If $\text{update_flag} = 1$, then go to Step2.

Step9. 데이터가 삽입된 영상 \hat{f} 와 키 파라미터 s가 얻어진다.

여기서 키 파라미터는 삽입될 때의 오버/언더플로우의 요인이 될 수 있는 \tilde{g}_b 와 d_b 값에 의해 \tilde{g}_b 값이 작고 d_b 가 음수이면 언더플로우의 발생 가능성이 있고, \tilde{g}_b 값이 크고 d_b 가 양수이면 오버플로우의 발생 가능성이 있다. [4]에서는 d_b 의 부호에 영향을 받지 않기 위해 키 파라미터로써 d_b 를 대신하여 u_b 를 사용하도록 하였지만, 위에서 살펴본 바와 같이, u_b 는 음수가 아니고, 또한 \tilde{g}_b 의 값도 오버플로우에 영향을 줄 수 있으므로 본 논문에서는 키 파라미터의 후보군을 식(8)과 같이 정의하였다. 이렇게 정의함으로써 \tilde{g}_b 와 u_b 의 상호관계에 따라 오버/언더플로우에 대비해 실제로 영상의 밝기 정보를 더 이용할 수 있게 되어 화소값이 낮은, 밝기가 어두운 부분에 대해서 추가적으로 데이터 삽입이 가능해지게 된다.

2.2 데이터 추출 및 원본 영상의 복원 과정

데이터의 추출과 원본 영상을 복원하는 과정은 데이터를 삽입할 때의 순서와 반대로 진행하면서 식(12)와 같이 데이터 삽입의 역순으로 쉽게 은닉한 데이터의 추출과 원본 영상을 복원할 수 있다.

$$g_b = \begin{cases} \bar{g}_b + \frac{\tilde{g}_b - \bar{g}_b - w_n}{2}, & r_b < s \\ \hat{g}_b, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

3. 실험 결과

본 실험은 기존의 방식들과의 비교를 위하여 주로 많이 쓰이는 [6, 7]에 있는 영상에 대해 수행하였다. [6]의 영상들 중 여러 가지 패턴에 의한 질감을 표현하는 영상들을 가지고 실험하였으며 [7]의 영상은

일반적으로 많이 사용되는 테스트 영상이다.

표 1. [6]의 영상들의 실제 삽입 용량 비교

[bits] images	Conventional method			Proposed method
	[3] B = 65025	[4] B = 65025	[5] B = 260100	
1.2.04	106	0	427	464
1.3.12	0	0	0	4
5.2.08	20	0	58	72
5.2.09	3375	255	7334	11946
7.1.02	3324	4122	9209	30909
texmos3b.p 512	1496	7	657	1070

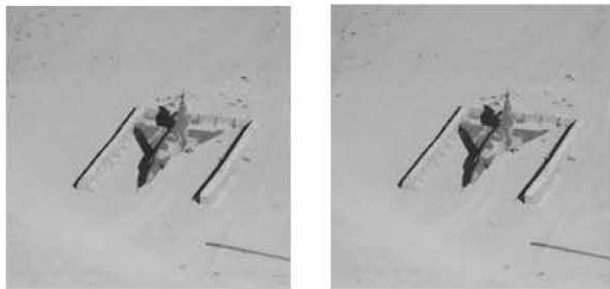


그림 3. 7.1.02의 원본 영상과 데이터 삽입 결과 비교

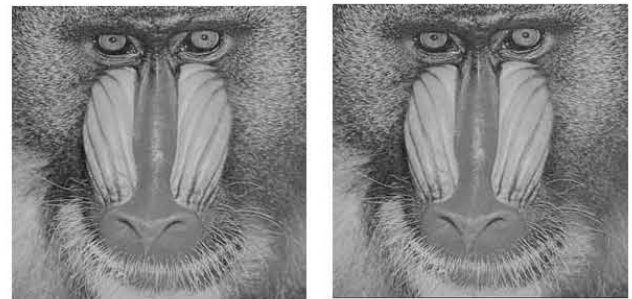
표1에서는 [6]의 영상들에 대해 기존의 방법들과 본 방법에 대한 영상들의 실제 삽입 용량을 비교해 보았다. 대부분의 영상에서 본 방법의 결과가 우수하게 나타남을 확인할 수 있었으며 texmos3b.p512와 같이 매우 불규칙한 패턴에 대해서는 d_0 의 부호를 고려하여 키 파라미터를 생성시켜주는 [3]번의 방법이 좀 더 우수함을 알 수 있다. 그림 3은 이들 중 한 영상의 원본 영상과 데이터 삽입 후의 결과 영상을 보여주고 있다. PSNR을 구해보면, 48.47db로써 주관적 화질이나 객관적 지표를 통해서도, 데이터 삽입 이후에 영상이 크게 훼손되지 않음을 알 수 있다.

표2. [7]의 영상들의 실제 삽입 용량 비교

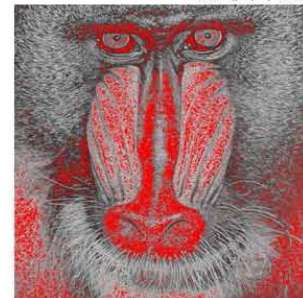
[bits] images	Conventional method			Proposed method
	[3] B = 65025	[4] B = 65025	[5] B = 260100	
Aerial6	21860	4322	7158	10005
Airplane	65025	130050	258650	258520
Baboon	44162	31226	100165	44083
Barbara	52870	57814	174532	143021
Lena	65025	120351	251326	253848
Pepper	64842	112220	251254	249906
Sailboat	64524	129669	201912	210281
Tiffany	64985	72058	98505	120338

다음으로 표2에서는 [7]의 영상들에 대한 결과를 비교해 보도록 하였다. 일상의 보통 영상에서는 전반적으로 [5]의 방법과 비슷한 결과를 보이지만 baboon에서는 안 좋은 결과를 보이고 있는데 이와 같은 영상의 특징은 주변 화소와 데이터를 삽입하려는 화소와의 화소값의 차이가 많이 나서 d_0 를 고려하는 \tilde{g}_0 를 추가한 본 방법에서는 좋지 않은 결과를 나타내게 된다. 실제로 baboon영상에 대해서 데이터 삽입 결과와 실제 데이터 삽입된 위치를 살펴보니 그림 4와 같이 털이나 수염과 같은 고주파 영역에 대해서는 데이터 삽입이 전혀 되지 않음을

알 수 있다.



(a) 원본 영상 (b) 데이터 삽입 후 결과 영상



(c) 데이터가 삽입된 위치를 표시한 영상

그림 4. baboon의 데이터 삽입 결과 영상과 데이터 삽입된 위치 비교

4. 결론

키 파라미터를 전송하는 무손실 데이터 은닉 기법에서는 오버/언더플로우가 발생하지 않는 조건에서만 데이터 삽입을 할 수 있기 때문에 본 논문에서는 키 파라미터를 기존의 주변 화소값의 범위 뿐만 아니라 표준 편차, 평균값들을 추가로 고려하였고, 이들의 상호 관계로부터 삽입 용량을 증가시킬 수 있는 기법을 제안하였다. 제안된 방법에 의한 효과는 실험으로 확인해 본 결과, 특히 주변 화소값의 평균값에 의존도가 있어 영상이 전체적으로 너무 맑지 않으면서 평탄한 면이 많은 영상에서 좋은 성능을 보여주고 있으며 이러한 특성을 잘 보여주는 테스트 영상 7.1.02과 같은 경우에는 기존 방식 대비 335%의 삽입용량을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] J Fredrich, M. Goligan, and R. Du. Lossless data embedding - New paradigm in digital watermarking, EURASIP J. Appl. Signal Process., vol. 2002, no.2, pp.185-196, Feb. 2002
- [2] Yonjian Hu, Heung-kyu Lee, and Jianwei Li, "DE-Based Reversible Data Hiding With Improved Overflow Location Map", IEEE Trans. on Circuits and systems for video technology, Vol.19, No.2, Feb. 2009
- [3] Hong Lin JIN, "Lossless Data Hiding in the Spatial Domain for High Quality Images", IEICE Trans Fundamentals Vol.E90-A, No.4 April 2007
- [4] Hong Lin JIN, "Reversible Data Hiding Based on Adaptive Modulation of Statistics Invertibility", IEICE Trans. Fundamentals Vol.E93-A, No.2 February 2010
- [5] Jihong Kang, "Improved reversible data hiding through full employment of image pixels", IEICE Electronics Express, Vol.8, No.11, pp866-872, Jun. 2011
- [6] Signal & Image Processing Institute, University of Southern California. [Online]. Available: <http://sipi.usc.edu/services/database/>
- [7] "Still images and sequences", center for Image Processing, Rensselaer Polytechnic Institute. [Online]. Available: <http://www.cipr.rpi.edu/>