

움직이는 창을 이용한 고성능 무손실 데이터 삽입 방법

강 지 홍^{a)}, Honglin Jin^{a)†}, 최 윤 식^{a)}

High Performance Lossless Data Embedding Using a Moving Window

Jihong Kang^{a)}, Honglin Jin^{a)†}, and Yoonsik Choe^{a)}

요 약

본 논문에서는 디지털 영상을 위한 공간 영역에서의 무손실 데이터 삽입 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 데이터 삽입 및 추출을 위해 위치 지도 등의 부가 정보를 삽입하는 대신에 단 한 개의 파라미터 만을 필요로 한다. 삽입 과정에서는 3×3 크기의 창이 대상 영상 위를 한 화소 단위로 움직이며 각 위치에서 한 비트의 데이터를 삽입 할 수 있다. 따라서, 이상적인 삽입 용량은 영상의 화소 수와 동일하다. 또한, 추가적인 실제 삽입 용량의 증가를 위해, 삽입 대상 화소의 예측을 위한 새로운 계수를 적용하였다. 그 결과 기존의 방법에 비해 삽입 용량이 매우 큰 폭으로 증가하고, 고용량 데이터 삽입 시의 영상 화질 또한 향상되었다. 제안 방법은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

Abstract

This paper proposes a new lossless data embedding algorithm on spatial domain of digital images. A single key parameter is required to embed and extract data in the algorithm instead of embedding any additional information such as the location map. A 3×3 window slides over the cover image by one pixel unit, and one bit can be embedded at each position of the window. So, the ideal embedding capacity equals to the number of pixels in an image. For further increase of embedding capacity, new weight parameters for the estimation of embedding target pixels have been used. As a result, significant increase in embedding capacity and better quality of the message-embedded image in high capacity embedding have been achieved. This algorithm is verified with simulations.

Keyword : Lossless data embedding, Reversible data hiding, Moving window, Watermarking

1. 서 론

디지털 데이터 삽입 기술은 은밀한 정보를 다른 디지털 매체 안에 삽입하여, 해당 매체가 가진 정보 외에 추가적인

정보를 전달하는 기술이다. 이 기술은 삽입 대상 매체에 추가적인 정보를 삽입하는 동시에 삽입 메시지의 내용 또는 삽입된 정보의 존재 여부 자체를 숨기기 위해 사용되며, 비밀통신, 인증, 보안 및 저작권 보호 등의 다양한 분야에 적용될 수 있다^[1]. 디지털 데이터 삽입 기술은 다양한 형태의 디지털 매체에 적용이 가능하지만, 본 논문에서는 정지 영상을 주요 매체로 삼는 방법에 대해 논하겠다.

데이터 삽입 기술은 데이터 추출 후 원본 매체의 완전한 복원 여부에 따라서, 손실 데이터 삽입 방법과 무손실 데이터 삽입 방법의 두 가지로 나뉜다. 손실 데이터 삽입 방법은

a) 연세대학교 전기전자공학부

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

† 교신저자 : Honglin Jin (hljin@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “대학IT연구센터 육성 지원사업”의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1101-0006)

· 접수일(2011년3월16일), 수정일(1차:2011년5월17일, 2차:8월9일), 게재확정일(2011년8월23일)

데이터가 삽입된 매체로부터 삽입된 정보를 추출한 후에도 원본 데이터의 정보가 완전히 복원되지 않고 어느 정도의 왜곡이 복원 영상에 남아있게 되는 방법으로써, 삽입 대상 매체가 가진 정보보다는 삽입된 메시지의 내용만이 중요한 비밀 통신 등의 분야에 사용된다. 가장 간단한 손실 데이터 삽입 방법은 영상의 각 화소의 최하위 비트를 원하는 메시지로 대체하는 방법으로서, 대부분의 영상에서 삽입된 메시지의 불감지성 (imperceptibility)을 유지하면서도 손쉽게 데이터를 삽입할 수 있다. 최신의 최하위 비트 변형 (Least-significant-bit modification) 기반 알고리즘의 한 예로, 3층의 레이어 구조를 이용하여 대상 영상 샘플의 1, 2, 3번째 최하위 비트에 메시지를 삽입하는 방법^[2]이 제안되었다. 이 방법^[2]에 의해 데이터가 삽입된 영상의 율-왜곡 (rate-distortion) 성능이 이론적 상한에 근접하였다.

무손실 데이터 삽입 방법은 대상 매체로부터 삽입된 정보가 추출된 이후에 원본 데이터가 완전히 복원되는 방법으로서, 영상에 대한 약간의 왜곡도 허용되지 않는 의료, 군사 분야 등에서 사용하는 영상에 추가적인 정보를 삽입하기 위해 사용된다. 일반적으로 무손실 데이터 삽입 방법은 손실 데이터 방법에 비해서 훨씬 작은 용량의 정보만을 영상에 삽입 할 수 있다. 무손실 데이터 삽입 알고리즘 간의 성능 평가 척도에는 높은 데이터 삽입 용량, 불감지성, 알고리즘의 낮은 복잡도, 데이터 삽입 영상 (스테고 영상)의 적은 왜곡 등의 조건이 사용된다.

공간 영역에서 행해지는 대표적인 무손실 데이터 삽입 방법에는 [1]에서 제안한 “RS 데이터 삽입 방법”이 있다. 이 알고리즘은 영상을 임의의 개수의 화소 단위로 나누고, 각 그룹 내 화소들의 통계적 특성을 이용하여 각 그룹을 Regular (R), Singular (S), Unusable (U)로 구분한다. 이 중 R과 S로 구분된 그룹은 특정한 전환 연산 (flipping operation)에 의해 서로 교환 가능한 (invertible) 성질을 이용하여, R과 S에 0과 1을 할당하여 메시지를 삽입한다. [3]에서는 정수 Haar 웨이블릿 변환 (integer Haar wavelet transform) 기반의 무손실 데이터 삽입 방법을 제안하였다. 이 방법은 영상 내의 인접한 두 화소 값이 가역 정수 변환 (reversible integer transform)을 이용하여 얻은 두 화소 간의 평균값 및 차이 값과 일대일로 상응 된다는 점을 이용한

다. 만일 인접한 두 화소의 차이 값의 최하위 비트에 한 비트의 데이터를 삽입한 후 다시 역변환을 시키더라도, 화소 간의 평균값은 그대로 유지된다. 따라서 차이 값의 최하위 비트로부터 메시지를 추출한 후 원래의 차이 값으로 복원 시키면 원래의 두 화소의 값이 복원될 수 있다. 또, 이미 데이터가 한번 삽입된 스테고 영상을 새로운 레이어의 영상으로 가정하고 여러 번 삽입하는 다중레이어 삽입 방법을 적용하여 데이터 삽입 용량을 비약적으로 증가시켰다. 하지만, [1, 3]의 방법은 삽입할 메시지 외에 데이터 복원에 필요한 위치 지도 등의 부가 정보의 삽입이 반드시 필요하므로, 부가 정보로 인해 원하는 메시지를 위한 공간이 줄어들고 원치 않는 스테고 영상의 왜곡이 증가 하게 된다. 또한, 압축 기술을 사용하여 부가 정보를 압축 한 후 데이터 삽입을 하고, 데이터 추출 시에는 압축된 부가 정보를 다시 풀어야 하므로 알고리즘의 복잡도가 현저히 높다.

이와는 다른 방법으로, 히스토그램 변형에 기반한 무손실 데이터 삽입 알고리즘도 제안되었다. [4]은 히스토그램 쉬프트에 의해 생긴 공간의 화소 값과 그보다 1만큼 큰 화소 값을 각각 0과 1로 삼아 데이터를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 경우 전체 영상에서 평균제곱오차가 최대 1 미만으로 스테고 영상의 PSNR의 하한이 이론적으로 약 48 [dB]로 제한되어 영상의 불감지성이 높게 유지된다. 하지만, 이 방법 역시 일부 화소들에 대한 위치 지도를 생성, 삽입 해야만 하고, 히스토그램 상의 최고점과 최저점에 해당하는 화소의 값이 최소 2개 이상 별도로 전송되어야만 하는 단점이 있다.

이후에는 삽입할 메시지 외에 추가의 정보 삽입이 필요 없는 알고리즘도 제안되었다. [5]에서 제안한 무손실 데이터 삽입 알고리즘은 영상을 다수의 3×3 크기의 정사각형이 한 화소 단위로 서로 겹쳐진 형태로 나누고, 해당 블록 내의 통계적인 특성을 이용하여 블록의 가운데 위치의 화소에 한 비트의 데이터를 삽입 하는 방법을 제안하였다. 이 방법^[5]의 특징은 하나의 광역 파라미터 s 를 원본 영상으로부터 유도하여, 해당 파라미터의 값에 의해 대상 영상 내에 데이터가 삽입 또는 추출 될 위치를 찾아낼 수 있다는 점이다. [6]은 [5]의 알고리즘에 기반하여 데이터를 삽입하는 블록의 모양을 변형시켰다. 영상을 정사각형 블록으로

나누는 대신에 변형된 모양의 블록을 사용하여, 데이터가 삽입 될 수 있는 대상 화소의 수를 늘림으로써 [5]의 방법보다 더 높은 데이터 삽입 효율을 낼 수 있는 방법을 제안하였다. 최근에는 [5]의 방법을 개선하여 데이터 삽입이 된 화소에서 오버플로우 또는 언더플로우가 발생할 확률이 더 낮은 새로운 데이터 삽입 방법[7]도 제안되었다. [7]에서 제안한 방법은 일반적인 영상뿐만이 아니라, 기존에는 데이터 삽입이 전혀 안되거나 수십 비트 내외의 데이터만이 삽입 가능했던 영상에서도 데이터 삽입 용량이 크게 증대되었다. 하지만, [5, 6, 7]의 방법은 모두 블록 단위의 무손실 데이터 삽입 방법으로서, 각 블록 내에서 삽입이 될 화소를 제외한 주변 화소의 값이 보존되어야만 삽입된 데이터의 추출과 원본 화소의 복원이 가능하다. 따라서, 영상 내에 존재하는 모든 화소를 데이터 삽입에 활용하지 못하므로 화소 당 데이터 삽입 용량의 효율이 떨어진다.

본 제안 논문에서는 [7]의 알고리즘에 기반 하여, 키 파라미터 유도 과정과 데이터 삽입 과정이 결합된 새로운 데이터 삽입 및 추출 방법과 새로운 주변 화소 예측 계수를 포함하는 개선된 무손실 데이터 삽입 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 기존의 방법에 비해 데이터 삽입 용량과 비약적으로 증가하고 고용량 데이터 삽입 시의 스테고 영상의 화질이 개선되었다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 기존 알고리즘[7]에 대한 자세한 분석 및 설명을 하고 III 장에서 제안 알고리즘의 데이터 삽입 및 추출 방법, 새로운 주변 화소 예측 방법을 소개한다. IV 장에서는 제안 알고리즘의 실험 결과를 보여주며, V 장에서 결론을 제시한다.

II. 기존의 무손실 데이터 삽입 방법

이 장에서는 기존 방법[7]의 무손실 데이터 삽입 및 추출 과정에 대해서 설명한다. 이 방법은 한 개의 메시지 비트 ω_n 를 영상 위의 b 번째 3×3 크기의 중첩 블록의 가운데 화소 g_b 에 삽입이 가능하다. 각 블록들은 대상 영상 위에서 블록의 중심을 기준으로 수직 및 수평방향으로 두 화소 간격으로 배치된다. 따라서 $X \times Y$ 크기의 영상에 대해 기존 방법의 이상

적인 삽입 용량 B 는 $B = \lfloor (X-1)/2 \rfloor \lfloor (Y-1)/2 \rfloor [bits]$ 가 된다.

원본 영상 f 에 실제로 삽입을 하기 전에, 먼저 키 파라미터 s 가 다음의 과정에 의해 유도된다.

(가) $b:=0$.

(나) 현재 블록 내 주변 화소 ($g_{b,0}, g_{b,1}, \dots, g_{b,7}$)의 평균과 차이 값 d_b 가 식 (1), (2)에 의해 계산된다.

$$\bar{g}_b = \frac{1}{8} \lfloor \sum_{i=0}^7 g_{b,i} \rfloor. \quad (1)$$

$$d_b = g_b - \bar{g}_b. \quad (2)$$

(다) 주변 화소의 표준편차 δ_b , 삽입 기반 변수 \tilde{g}_b , 주변 화소의 범위 u_b 는 다음의 식들에 의해 계산된다.

$$\delta_b = \sqrt{\frac{1}{8} \sum_{i=0}^7 (g_{b,i} - \bar{g}_b)^2}. \quad (3)$$

$$\tilde{g}_b = \bar{g}_b + 2 \times \text{round}((2 + \delta_b)(1 - \frac{\bar{g}_b}{2^{K-1}})). \quad (4)$$

$$u_b = g_{\max,b} - g_{\min,b}. \quad (5)$$

식 (4)에서 K 는 영상의 화소 당 비트 수를 의미한다. 식 (5)에서 $g_{\max,b} = \max_i g_{b,i}$, $g_{\min,b} = \min_i g_{b,i}$ 이다. ($i=0,1,2, \dots,7$)

(라) 키 파라미터 s 의 후보 s_b 는 다음의 식에 의해 얻을 수 있다.

$$s_b = \begin{cases} u_b, & \tilde{g}_b + 2d_b < 0 \text{ or } \tilde{g}_b + 2d_b > 2^{K-2}. \\ \infty, & \text{그 외} \end{cases} \quad (6)$$

(마) $b:=b+1$. 만일 $b < B$ 인 경우, (나)로 되돌아간다.

(바) 키 파라미터는 $s = \min_b s_b$ 에 의해 획득된다.

위 과정에 의해 최종 유도된 키 파라미터 s 의 값을 감소시켜서 삽입하고자 하는 메시지 크기에 맞게 실제 삽입 용량을 줄일 수도 있다.

다음 식을 이용하여 원본 영상 f 에 데이터를 삽입한다.

$$\hat{g}_b = \begin{cases} \tilde{g}_b + 2d_b + \omega_n, & u_b < s \\ g_b, & \text{그 외} \end{cases} \quad (7)$$

삽입 조건 $u_b < s$ 는 삽입된 화소가 영상의 다이내믹 범 위인 $[0, 2^k - 1]$ 를 벗어나지 않도록 제한하는 역할을 한 다. 식 (7)이 영상의 모든 블록에 적용되고 나면 스테고 영 상 \hat{f} 가 획득된다.

데이터 추출 및 복원 과정에서는 숨겨진 메시지 비트 ω_n 가 식 (8)에 의해 추출된 후, 원본 화소 g_b 가 식 (9)에 의해 복원된다.

$$\text{If } u_b < s, \omega_n = (\hat{g}_b - \tilde{g}_b) \bmod 2. \quad (8)$$

$$g_b = \begin{cases} \tilde{g}_b + \frac{\hat{g}_b - \tilde{g}_b - \omega_n}{2}, & u_b < s \\ \hat{g}_b, & \text{그 외} \end{cases} \quad (9)$$

이 방법은 영상의 전체 화소 중 오직 4분의 1의 화소들만 데이터 삽입 대상 화소로 사용할 수 있다. 하지만, 제안하는 방법은 기존 알고리즘을 변경하여 전체 화소를 대상으로 데이터 삽입이 가능하다.

III. 제안하는 방법

제안 알고리즘의 데이터 삽입 및 추출 과정은 그림 1에 간략히 나타나 있다. 제안 알고리즘은 영상 위에서 정해진

방향으로 움직이는 창을 통해, 창 내부에 위치하는 화소들 을 이용하여 데이터를 삽입 또는 추출한다. 데이터 삽입 및 추출의 기본 단위는 3×3 크기의 정사각형 창이다. 데이터 삽입 창은 그림 2에서와 같이 영상 위에서 한 픽셀 단위로 raster-scan 방향으로 움직이며, 매 위치에서 한 비트의 데 이터 ω_n 를 삽입 창의 가운데 화소 g_b 에 그 주변 8개 화소들 의 통계적 특성을 활용하여 삽입한다.

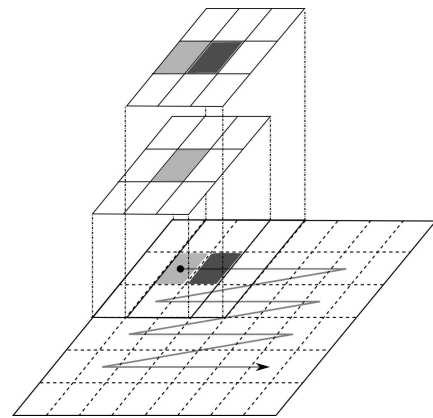


그림 2. 삽입 창의 움직임 방향
Fig 2. The moving direction of the embedding window

기존의 방법[7]과는 달리 제안 방법에서는 한 번 데이터 가 삽입되어 수정된 화소는 다른 위치의 화소에 데이터 삽입을 할 때 주변 화소로서 사용된다. 새롭게 개선된 삽 입 및 추출 과정에 의해 창 내부의 주변 화소에 데이터가 삽입되어 원본 값과 동일하게 유지하지 않아도 삽입된 데 이터 추출 및 원본 영상의 복원이 가능하다. 따라서, 제안 알고리즘은 영상의 전체 화소를 대상으로 데이터 삽입이 가능하므로, $X \times Y$ 크기의 영상에서 이상적인 삽입 용량

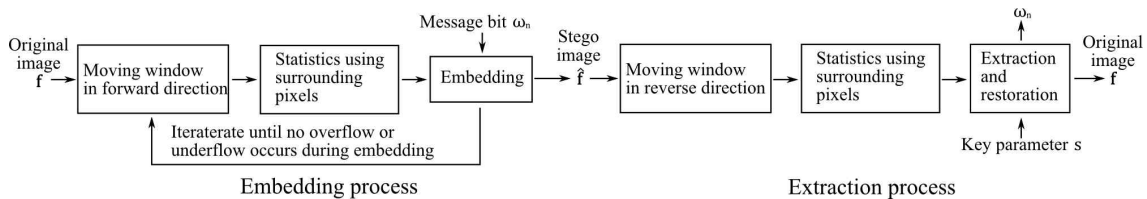


그림 1. 제안 방법의 블록도
Fig 1. A diagram of the proposed algorithm

B 은 $B=XY$ [bits]가 된다.

하지만, 제안 알고리즘에 대한 예비 실험에서 영상의 전체 화소를 대상으로 데이터를 삽입한 경우, 영상의 테두리 부분의 불연속성으로 인해 해당 위치에서 식 (2)의 데이터 삽입 대상 화소의 값에 대한 예측 오차 d_b 가 매우 크게 발생하는 것을 확인하였다. 이로 인해 최종적으로 유도되는 키 파라미터 s 의 값이 매우 작게 유도되고 이것이 영상의 나머지 부분에 대한 데이터 삽입을 제한하는 원인이 된다. 따라서, 제안 알고리즘의 본 실험에서는 영상의 테두리 부분의 화소를 제외한 나머지 화소에 데이터를 삽입하였고, 이때의 이상적 삽입 용량은 $B=(X-2)(Y-2)$ [bits]가 된다.

제안 알고리즘에서 데이터 추출 및 영상 복원을 할 때는 창이 데이터 삽입 시와 정반대의 방향으로 움직인다. 예를 들어, 데이터 삽입 시에 삽입 창이 영상의 좌측 상단에서 시작하여 raster-scan 방향으로 움직였다면, 데이터 삽입 및 복원 과정에서 추출 창은 영상의 우측 하단에서 시작하여 삽입 시의 방향을 반대로 거슬러 올라가며 프로세스를 진행한다. 제안 알고리즘에서 삽입 창이 한 화소 단위로 이동하면서 이전 삽입 화소를 창 내부의 주변 화소로 이용 가능한 것은 바로 추출 창이 역방향으로 움직이기 때문이다. 추출 창이 삽입 과정과 정반대의 순서로 영상을 한 화소씩 영상을 복원해 갈 경우, 추출 창의 가운데 화소를 기준으로 좌측 및 상측의 주변 화소들은 이미 데이터가 삽입된 화소들이고, 우측 및 하측은 원본 화소 값이 복원된 상태가 되므로, 주변 화소의 상태가 데이터가 삽입될 당시와 완전히 동일하게 된다. 그러므로 추출 창은 데이터 삽입 시와 동일한 주변 화소 정보를 이용하여 데이터 삽입으로 수정되었던 가운데 화소를 다시 원본 값으로 복원 시킬 수 있다.

다음 절에서는 키 파라미터 추출 과정 및 데이터 삽입 과정을 단계별로 나타내었다.

1. 키 파라미터 유도 및 데이터 삽입

다음은 원본 영상 f 에 대한 키 파라미터 유도 및 데이터 삽입 과정이다.

(가) $s := 2^K - 1$.

(나) $b := 0, n := 0, update_flag := 0$.

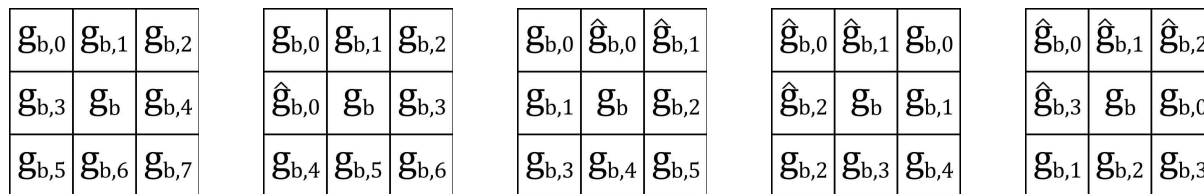
(다) \bar{g}_b 가 원본 화소 집합($g_{b,0}, g_{b,1}, \dots, g_{p-1}$)과 이전 삽입 화소 집합($\hat{g}_{b,0}, \hat{g}_{b,1}, \dots, \hat{g}_{q-1}$)의 두 가지 모두의 주변 화소 집합을 이용하여 식 (10)에 의해 계산된다.

$$\bar{g}_b = \lfloor \sum_{i=0}^{p-1} (\Omega_i \cdot g_{b,i}) + \sum_{j=0}^{q-1} (\Omega_j \cdot \hat{g}_{b,j}) \rfloor. \quad (10)$$

이 때, Ω_i 와 Ω_j 는 예측 계수로써 주변 화소와 삽입 목표 화소 간의 거리에 기반 하여 식 (14)에 의해 결정된다. 또한, 주변 화소들의 인덱스 (i, j)와 각 집합의 개체 수 (p, q)는 삽입창의 위치에 따라 달라진다. 이에 대한 구체적인 설명은 그림 3을 참고한다.

(라) δ_b 또한 두 가지 주변 화소 집합을 모두 이용하여 식 (11)에 의해 계산된다. \tilde{g}_b 와 u_b 는 각각 식 (4), (5)에 의해 유도된다.

$$\delta_b = \sqrt{\frac{1}{8} \left(\sum_{i=0}^{p-1} (g_{b,i} - \bar{g}_b)^2 + \sum_{j=0}^{q-1} (\hat{g}_{b,j} - \bar{g}_b)^2 \right)}. \quad (11)$$



(a) 제1행, 1열 ($p=8, q=0$) (b) 제1행 ($p=7, q=1$) (c) 제1열 ($p=6, q=2$) (d) 마지막 열 ($p=5, q=3$) (e) 나머지 ($p=4, q=4$)

그림 3. 식 (10)의 주변 화소 인덱스 할당. 각 그림 아래의 설명은 영상 위에서 창의 위치를 가리킨다

Fig. 3. The indices of surrounding pixels in Eq. (10). Each caption under the figures corresponds to the position of the window on the image

(마) 키 파라미터 s 를 갱신한다.

If $(u_b < s)$ and $(\tilde{g}_b + 2d_b < 0$ or $\tilde{g}_b + 2d_b > 2^K - 2)$,
 then, $s = u_b$, $update_flag = 1$, (사)로 이동. (12)

(바) 데이터 삽입은 다음의 식에 의해 이뤄진다.

$$\hat{g}_b = \begin{cases} \tilde{g}_b + 2d_b + \omega_n, & u_b < s \text{ and } 0 \leq \tilde{g}_b + 2d_b \leq 2^K - 2 \\ g_b, & \text{그 외} \end{cases} \quad (13)$$

만약 식 (13)에서 메시지 비트 ω_n 가 삽입되었으면, $n := n + 1$.

(사) $b := b + 1$. 만약 $b < B$ 이면, (다)로 이동.

(아) 만약 $update_flag = 1$ 이면, (나)로 이동.

(자) 스테고 영상 \hat{f} 와 키 파라미터 s 가 생성됨.

위 과정에서 키 파라미터 s 는 (다)-(마)의 과정을 통해 갱신되고, 삽입 화소 \hat{g}_b 는 (바)에서 얻을 수 있다. 제안 알고리즘에서는 키 파라미터 유도과 데이터 추출 과정이 하나의 통합 과정으로 수행되며, 통합 과정은 키 파라미터가 새롭게 갱신되지 않을 때까지 반복적으로 수행된다.

2. 데이터 추출 및 복원

데이터 추출 및 복원과정은 추출 창의 이동순서가 삽입 창의 이동순서의 정반대라는 것을 제외하면 기존 방법[7]과 대부분 동일하다. 삽입된 메시지 비트는 식 (8)에 의해 추출된 후, 식 (9)에 의해 원래의 화소가 복원된다. 복원된 원본 화소는 곧 바로 추출 창의 다음 위치에서 주변 화소로서 식 (10), (11)에 사용된다. 추출 창의 전체 영상 위를 모두 지나고 나면 원본 영상 f 와 숨겨진 메시지 ω 의 역순인 추출 메시지 $\tilde{\omega}$ 를 얻을 수 있다.

3. 삽입 목표 화소 예측을 위한 새로운 계수 값의 유도

식 (10)에서 구하는 \bar{g}_b 는 창 내부의 주변 화소를 이용하여 가운데 화소 g_b 를 예측한 값이다. 실제 값 g_b 와 예측 값

\bar{g}_b 의 차이 값 d_b 가 줄어들수록, 식 (12)의 오버플로우 또는 언더플로우 발생 확률이 줄어들게 된다.

가운데 화소 g_b 를 예측 하는 데는 여러 가지 방법을 사용할 수 있다. 기존 방법[7]의 경우 주변 화소에 동일한 계수 값을 곱하여 주변 화소들의 평균값을 가운데 화소에 대한 예측 값으로 사용하였다. 하지만, 해당 계수는 인접 화소들 간에 존재하는 상관도를 충분히 반영하지 못한다. 일반적으로 자연 영상의 화소 간 상관도는 화소 간 거리에 반비례하는 특성을 가지고 있다. 제안 알고리즘에서는 이 특성을 활용하여 창 내부의 가운데 화소 g_b 와 그 주변 화소 $(g_{b,0}, g_{b,1}, \dots, g_{p-1})$ 와 $(\hat{g}_{b,0}, \hat{g}_{b,1}, \dots, \hat{g}_{q-1})$ 와의 거리에 반비례하도록 계수를 할당하였다.

그림 4에서와 같이 3×3 창 내부의 가운데 화소와 주변 화소 간에는 수평 및 수직 거리 $W_1 = 1$ 과 대각선 거리 $W_2 = \sqrt{2}$ 의 두 가지의 Euclidean 거리가 존재한다. 각 거리에 반비례하게 계수 값을 할당한 후, 모든 계수의 합이 1이 되도록 정규화 시키면, 예측 계수 Ω_i 또는 Ω_j 는 다음과 같이 계산되어 식 (10)에 적용된다.

W_2	W_1	W_2
W_1		W_1
W_2	W_1	W_2

그림 4. 가운데 화소와 주변 화소 간의 Euclidean 거리
 Fig 4. Euclidean distances between the center pixels and the surrounding pixels

$$\Omega_i \text{ or } \Omega_j = \begin{cases} \frac{W_2}{4(W_1 + W_2)} = 0.1464\dots, & \text{거리가 } W_1 \text{인 경우,} \\ \frac{W_1}{4(W_1 + W_2)} = 0.1035\dots, & \text{거리가 } W_2 \text{인 경우.} \end{cases} \quad (13)$$

일반적으로 예측 차이 d_b 의 히스토그램은 평균이 0인 라플라스 분포와 근사한 형태를 보이게 된다. 이 때, 예측 차이 d_b 의 히스토그램 분포의 표준편차가 더 작을수록 예측 계수의 성능이 더 뛰어나다고 할 수 있다. 표 1은 제안된

예측 계수를 식 (10)에 적용했을 때 예측 차이 d_b 의 표준 편차를 기존의 예측 계수를 사용한 경우와 비교한 것이다. 그 결과, 모든 영상에서 제안 예측 계수를 사용한 경우의 표준 편차가 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

표 1. 예측 차이 d_b 의 표준편차 비교

Table 1. Comparison of the standard deviation of the estimation difference d_b

영상	기존 예측 계수 (a)	제안 예측 계수 (b)	(a) - (b)
Aerial6	15.84	15.35	0.49
Airplane	6.14	5.87	0.27
Baboon	16.66	16.19	0.47
Barbara	15.79	15.38	0.41
Lena	6.55	6.45	0.10
Peppers	6.29	6.23	0.07
Sailboat	8.47	8.29	0.18
Tiffany	5.73	5.57	0.17

IV. 실험 및 결과

제안한 방법의 성능 평가를 위해 시험 영상 데이터베이스^[8]의 회색조 영상 (K=8)에 기존의 방법[6, 7]과 제안 방법

을 이용하여 데이터 삽입을 수행하였다. 영상에 삽입되는 데이터는 무작위로 생성된 비트 스트림을 사용하였다. 제안 방법에서는 삽입 창이 이전 위치에서 데이터가 삽입된 화소의 값을 다음 위치에서 주변 화소로 이용하기 때문에, 주변 화소에 삽입된 메시지 비트의 값들이 다음 위치의 삽입 화소의 값과 삽입 여부에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 무작위로 생성된 삽입 데이터의 내용에 따라 실제 삽입 용량이 조금씩 차이가 날 수 있지만, 그 변동 폭은 실제 삽입 용량에 비해 매우 작게 나타난다.

기존의 방법들과 제안 방법의 실험 결과를 표 2에서 수치로 제시하였다. 표 2에서 나타난 기호 B [bits], N [bits], s, PSNR [dB]은 순서대로 이상적 삽입 용량, 실제 삽입 용량, 키 파라미터, 원본 영상과 스테고 영상 간의 PSNR을 의미한다. 512×512 크기의 영상에 대해 기존의 방법 [7]과 [6]은 각각 65025 비트와 130050 비트의 이상적 삽입 용량을 가진다. 제안 방법에서는 기존 방법보다 최대 4배 만큼 증가한 260100 비트의 이상적 삽입 용량을 제공한다. 그 결과, 대부분의 실험 영상에서 실제 삽입 용량도 큰 폭으로 증가하였다.

제안 방법과 기존 방법들 간의 실제 삽입 용량 차이는 그림 5의 그래프에서 쉽게 확인할 수 있다. 그래프의 x축은 실험 영상, y축은 실제 삽입 용량 [bpp]을 가리킨다. 이 때, bits per pixels [bpp]은 실제 삽입 용량을 영상의 화소수로

표 2. 이상적 삽입 용량 [bits], 실제 삽입 용량 [bits], 키 파라미터 s 및 PSNR [dB]

Table 2. Ideal capacity B [bits], real capacity N [bits], the key parameter s and PSNR [dB]

영상	기존방법 [7]				기존 방법 [6]				제안 방법			
	B	N	s	PSNR	B	N	s	PSNR	B	N	s	PSNR
Aerial6	65025	21860	32	38.80	130050	4322	1	63.17	260100	5931	5	48.42
Airplane	65025	65025	256	37.70	130050	130050	256	35.44	260100	259367	138	33.51
Baboon	65025	44162	57	34.51	130050	31226	9	42.53	260100	100503	35	34.47
Barbara	65025	52870	67	34.30	130050	57814	8	45.09	260100	174968	47	32.49
Lena	65025	65025	256	35.60	130050	120351	24	38.12	260100	260094	197	30.89
Peppers	65025	64842	135	35.98	130050	112220	13	40.27	260100	251310	73	32.12
Sailboat	65025	64524	116	33.91	130050	129669	68	32.65	260100	202008	45	31.37
Tiffany	65025	64985	105	35.26	130050	72058	5	46.43	260100	98829	10	40.36

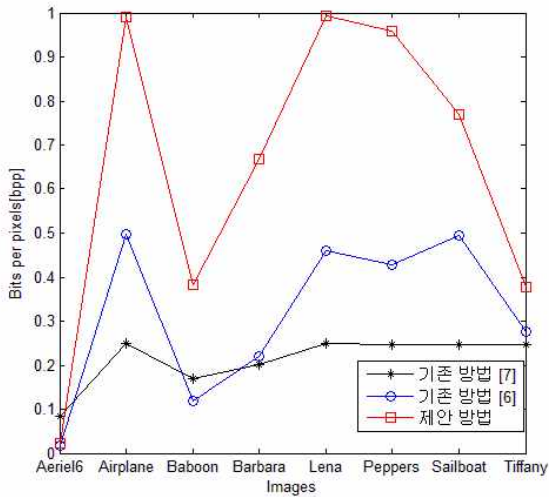
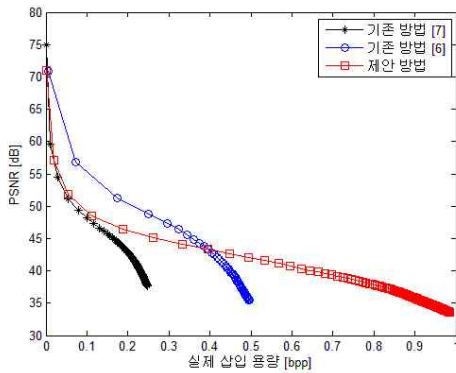


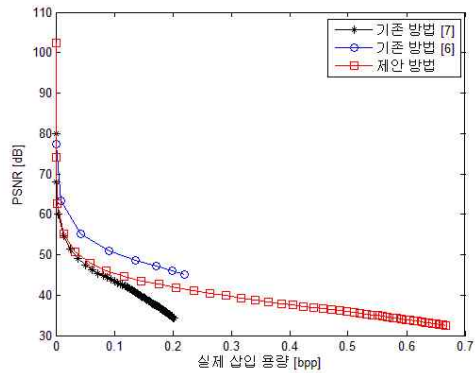
그림 5 실험 영상들의 실제 삽입 용량 비교
Fig 5 Real capacity of test images

나는 값을 의미한다. 그림 5에 따르면, 기존 방법에 의해 많은 삽입 용량을 제공하는 영상에서, 제안 방법의 실제 삽입 용량 증가폭이 더 넓어지는 것을 알 수 있다.

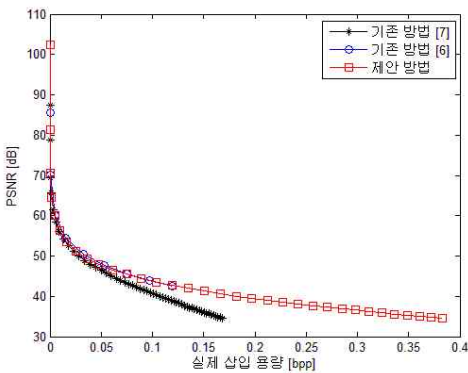
그림 6은 실제 삽입 용량에 따른 스테고 영상의 객관적 화질의 변화 비교 그래프이다. 이 그래프에서 x축은 실제 삽입 용량 [bpp], y축은 스테고 영상과 원본 영상 간의 PSNR [dB]을 가리킨다. 그림 6(a)에서 Airplane 영상의 그래프를 보면, 영상에 0.396 [bpp] 이하의 데이터를 삽입 했을 때, 제안 방법의 PSNR은 [7]보다는 높고 [6]보다 낮게 나타나지만, 이보다 많은 양의 데이터를 삽입 한 경우 제안 방법의 스테고 영상이 가장 좋은 화질을 유지한다. 이러한 경향이 나타나는 첫 번째 요인은 제안 방법이 영상 내부의 평탄면의 모든 화소를 삽입 대상 화소로 이용할 수 있게 되었기 때문이다. 일반적으로 평탄면에 존재하는 화소들에 삽입을 할 경우, 주변 화소와 삽입 대상 화소 간의 화소 값



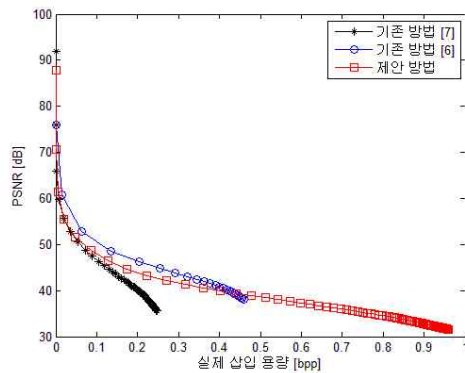
(a) Airplane



(b) Barbara



(c) Baboon



(d) Lena

그림 6. 실제 용량 vs. PSNR
Fig 6. Real capacity vs. PSNR

차이가 매우 작기 때문에 식 (2)에서 예측 차이 d_b 의 값이 작게 유도 된다. 따라서 식 (13)을 이용하여 데이터 삽입을 할 경우 d_b 에 의한 화질의 저하가 비평탄면에 삽입하는 경우보다 크게 줄어들게 된다. 제안 방법은 기존 방법 [6]과 [7]에 대비해 각각 2배, 4배 더 많은 수의 평탄면의 화소를 이용 가능하므로 더 높은 화질을 유지할 수 있다. 하지만, 기존 방법 [6, 7]과는 달리 제안 방법은 이전 위치에서 데이터가 삽입 된 화소 ($\hat{g}_{b,0}, \hat{g}_{b,1}, \dots, \hat{g}_{q-1}$)를 현재 위치의 삽입 대상 화소를 예측하는데 이용하므로, 이는 예측 오차를 증가시키는 반대 요인이 된다. 결과적으로, 두 번째 요인으로 인해 낮은 용량의 데이터 삽입 시에는 제안 방법이 [6]보다 낮은 화질을 유지하지만, 데이터 삽입량에 따라 첫 번째 요인의 영향이 커짐에 따라 제안 방법에서 좀 더 개선된 화질을 얻을 수 있었다. 그림 6(b)-(d)의 Barbara, Baboon, Lena 영상에서도 데이터 삽입량이 증가할수록 제안 방법의 화질이 [6]의 화질에 근접하는 경향을 보이고 있다. 그림 7에서는 Lena의 원본 영상과 스테고 영상을 비교를 통해, 260094 비트의 데이터가 삽입된 스테고 영상의 주관적 화질을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 영상에 대한 무손실 데이터 삽입 알고리즘을 제안하였다. 제안 방법은 3×3 크기의 창을 기본 단위로 영상의 모든 화소에 한 비트씩의 데이터 삽입이 가능하며, 이에 따라 이상적 삽입 용량이 1 [bpp]에 도달하였다. 영상 내의 모든 화소를 대상으로 데이터 삽입을 하고 실제 삽입 용량을 증가시키기 위해, 기존의 방법[7]로부터 크게 네 가지의 변형이 이루어졌다. 첫째, 데이터 삽입 및 추출 창이 한 화소 단위로 이동하면서 이전 위치에서 데이터가 삽입된 화소들을 현재 위치에서 주변 화소로써 데이터 삽입에 이용한다. 둘째, 키 파라미터 유도 과정과 데이터 삽입 과정이 하나로 통합되어 동시에 반복적으로 수행된다. 셋째, 데이터 추출 및 영상 복원 시 데이터 추출 창의 이동 방향은 삽입 창의 이동 방향의 반대이다. 넷째, 새로운 예측 계수가 사용되었다. 그 결과, 제안 방법은 기존의 방법[6, 7]에 비해 영상의 실제 삽입 용량이 매우 큰 폭으로 증가하였을 뿐만 아니라, 고용량 데이터 삽입 시의 스테고 영상 화질 또한 기존의 방법[6]과 같거나 보다 개선되었다.



(a) 원본 영상



(b) 스테고 영상 (N=260094 [bits], PSNR=30.89 [dB])

그림 7. Lena 원본 영상과 스테고 영상의 비교

Fig 7. A comparison between the original and the stego image of Lena

참 고 문 헌

- [1] J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du, "Lossless data embedding - New paradigm in digital watermarking," EURASIP J. on Appl. Signal Process., vol.2002, no.2, pp.185-196, Feb. 2002.
- [2] X. Zhang, "Efficient data hiding with plus-minus one or two," IEEE Signal Process. Letters, vol.17, Jul. 2010.
- [3] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.13, no.8, pp.890-896, Aug. 2003.
- [4] Z. Ni, Y. Shi, N. Ansari, and W. su, "Reversible data hiding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.16, no3, Mar. 2006.
- [5] H. L. Jin, M. Fujiyoshi, and H. Kiya, "Lossless data hiding in the spatial domain for high quality images," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E90-A, no.4, pp.771-777, Apr. 2007.
- [6] S. Arjun, and N. Rao, "An approach to reversible information hiding for images," TENCON - 2008 IEEE Region 10 Conference, Hyderabad, India, Nov. 2008.
- [7] H. L. Jin, Y. Choe, and H. Kiya, "Reversible data hiding based on adaptive modulation of statistics invertibility," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E93-A, no.2, pp.565-569, Feb. 2010.
- [8] "Still images and sequences," Center for Image Processing, Rensselaer Polytechnic Institute, <http://www.cipr.rpi.edu/>.

저 자 소 개



강 지 흥

- 2009년 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2011년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리, 워터마킹, 데이터하이딩



Honglin Jin

- 1987년 : 중국 延辺大學 물리학부 졸업
- 2004년 : 일본 弘前大學 정보과학전공 석사과정 수료
- 2008년 : 일본 東京都立大學 전기공학전공 박사과정 수료 공학박사
- 2008년 5월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 연구원
- 주관심분야 : 디지털신호처리, 워터마킹, 데이터하이딩



최 은 식

- 1979년 : 연세대학교 전기공학과 학사
- 1984년 : Case Western Reserve 대학 시스템공학과 석사
- 1987년 : Pennsylvania 주립대학 전기공학과 석사
- 1990년 : Purdue 대학 전기공학과 박사
- 1993년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리 및 해석