일반논문 (Regular Paper)
방송공학회논문지 제22권 제5호, 2017년 9월 (JBE Vol. 22, No. 5, September 2017)
https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.5.643
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

블록 매칭 기반 영상 스테가노그래피의 삽입 용량 개선을 위한 통계적 접근 방법

김 재 영[a], 박 한 훈[a]‡, 박 종 일[b]

A Statistical Approach for Improving the Embedding Capacity of Block Matching based Image Steganography

Jaeyoung Kim[a], Hanhoon Park[a]‡, and Jong-Il Park[b]

요 약

스테가노그래피는 정보 은닉 기법중의 하나로, 제 3자에 의해 은닉 정보의 존재를 알지 못하게 방지한다는 점에서 정보의 해독을 막기 위한 암호 기법과는 구별된다. 본 논문에서는 영상을 미디어로 사용하는 영상 스테가노그래피 방법으로, 블록 매칭을 이용하여 이산 웨이블릿 변환 영역에 정보를 삽입하는 새로운 스테가노그래피 방법을 제안한다. 제안 방법은 블록 매칭 후보군 블록의 불균등한 사용으로 인해서 발생하는 삽입 용량의 손실을 개선하여 고용량의 영상 정보를 삽입할 수 있다. 이를 위해, 블록 내부의 분산값을 고려하여 고주파수 성분을 갖는 후보군 블록은 최대한 보존하고, 저주파수 성분의 후보군 블록의 수는 *k*-평균 군집화 알고리즘을 이용한 압축을 통해 줄인다. 제안된 방법을 통해 기존 블록 매칭 기반 스테가노그래피 방법과 유사한 PSNR을 갖는 비밀 영상의 추출이 가능하면서 동시에 고용량의 영상 정보 삽입이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

Steganography is one of information hiding technologies and discriminated from cryptography in that it focuses on avoiding the existence the hidden information from being detected by third parties, rather than protecting it from being decoded. In this paper, as an image steganography method which uses images as media, we propose a new block matching method that embeds information into the discrete wavelet transform (DWT) domain. The proposed method, based on a statistical analysis, reduces loss of embedding capacity due to inequable use of candidate blocks. It works in such a way that computes the variance of each candidate block, preserves candidate blocks with high frequency components while reducing candidate blocks with low frequency components by compressing them exploiting the *k*-means clustering algorithm. Compared with the previous block matching method, the proposed method can reconstruct secret images with similar PSNRs while embedding higher-capacity information.

Keyword : Image steganography, block matching, discrete wavelet transform, high capacity, block variance, statistical analysis

Copyright ⓒ 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.
"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

Ⅰ. 서 론

최근 디지털 멀티미디어와 정보통신기술의 발달로 인해서 각종 기관의 기밀정보 뿐만 아니라 개인정보의 유출 문제가 대두되며 정보은닉 기술에 대한 필요성이 부각되었다. 이전에는 주로 군사적이나 외교적 또는 사업적인 정보들에 한정적으로 정보를 은밀하게 전달하기 위해서 발달해왔다면 현대에 이르러서는 의료, 저작권 등의 기업 단위에서 뿐 아니라 사용자 개인의 프라이버시 정보 등 다양한 영역에서 활용되고 있다[2,3]. 정보 은닉 기술 가운데 하나인 스테가노그래피(steganography)는 암호학적인 특징과는 다르게 정보의 은닉 유무에 대한 사실을 공격자가 알지 못하게 하여 정보의 유출과 해독을 사전에 방지하는 방법 중의 하나이다[1]. 특히 다양한 디지털 매체 중에서도 영상에 정보를 은닉하는 기법들이 다양하게 연구 되었는데 일반적으로 사람의 시각 정보 체계가 인지하지 못하는 범위에서 픽셀값을 수정하여 정보를 삽입하게 된다. 다양한 영상 스테가노그래피 기법들이 연구가 되었는데 정보를 삽입하는 영역에 따라서 공간 영역과 변환 영역으로 나누어진다. 공간 영역의 스테가노그래피 기법 중 하나는 LSB(least significant bits)로 픽셀의 하위 비트를 수정하여 정보를 삽입한다[4]. 다른 방법으로는 이웃한 픽셀값의 차이에 따라서 유동적으로 삽입가능한 정보량을 선택하는 PVD[5] 방법이 있으며, PVD의 외부공격에 대한 강건함을 개선하는 방법으로 지역적 삽입비트 고정 PVD[6] 방법이 있다. 변환 영역으로는 Fresnel[7], DCT[8], DWT[9-11] 등이 있으며 변환을 통하여 생성된 영역에 삽입 기법을 적용하여 정보를 은닉한다.

본 논문에서는 고해상도 영상의 발전으로 인해서 기존의 방법보다 더 고용량의 영상정보를 삽입할 수 있는 스테가노그래피의 필요성이 대두되었기 때문에 기존의 블록 매칭 방법을 이용하여 DWT 영역에 영상을 은닉하는 방법 중 하나인 [12]보다 삽입 용량을 향상시켜서 같은 크기의 커버 영상에 좀 더 고용량의 비밀 영상을 삽입 할 수 있도록 개선된 블록 매칭 방법을 제안한다. 제안된 방법은 블록 내부의 분산값을 고려하여 영상의 특징인 고주파수 성분은 최대한 보존하고 영상의 전반적인 영역을 차지하는 저주파수 성분은 군집화 알고리즘을 활용하여 최대한 대푯값으로 근사시켜서 추출된 비밀 영상의 PSNR의 성능은 유지하면서 삽입 용량을 크게 개선시킨다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안된 방법에 관련된 기존 스테가노그래피 방법[12]과 k-평균 군집화 알고리즘[13]에 대해서 간단하게 소개하고, 3장에서는 제안된 방법의 삽입 및 추출 방법에 대해서 구체적으로 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 제시하고, 5장에서는 결론을 도출한다.

Ⅱ. 관련 연구

제안된 방법은 DWT 영역과 블록 매칭 영상 스테가노그래피의 방법으로 기존 방법[12]을 개선하여 고용량의 영상을 삽입할 수 있도록 k-평균 군집화 알고리즘을 적용하며 이에 대해서 간략하게 설명한다.

1. DWT(discrete wavelet transform)

DWT는 신호를 저주파수 성분과 고주파수 성분으로 분할해주는 변환이며 이를 영상에 적용할 경우에도 동일하게 저주파수 성분과 고주파수 성분으로 분할해준다. 영상의 경우에 수직과 수평인 2차원 신호로 구성되어있으므로 영상에는 2D-DWT를 적용한다. 1D-DWT 영상의 경우 그림 1의 (b)와 같으며 식 1을 영상의 수평방향으로 적용한 결과이다. 영상의 수평신호에 대해 분할된 저주파수 성분과 고주파수 성분은 각 $s_{i,l}$과 $d_{i,l}$이다. 그림 1 (b)와 같이 1D-DWT에 의해서 분할된 저주파수 성분과 고주파수 성분에 수직 방향으로 다시 변환하여 2D-DWT가 적용된 영상은 그림 1 (c)와 같으며 모두 4개의 부대역으로 구성되며

a) 부경대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Pukyong National University)
b) 한양대학교 컴퓨터소프트웨어학과(Department of Computer and Software, Hanyang University)
‡ Corresponding Author : 박한훈(Hanhoon Park)
E-mail: hanhoon_park@pknu.ac.kr
Tel: +82-51-629-6225
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6968-4565
※ 이 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소의 재원에 의해 설립된 신호정보 특화연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었음.
· Manuscript received July 11, 2017; Revised August 28, 2017; Accepted August 28, 2017.

(a) (b) (c)

그림 1. 원 영상 (a), 1D-DWT 영상 (b), 2D-DWT 영상 (c)
Fig. 1. The origin image (a), 1D-DWT image (b) and 2D-DWT image (c)

각 LL, LH, HL, HH 부대역이 된다. LL 부대역은 영상의 저주파수 성분이며 LH, HL, HH 부대역은 영상의 수평, 수직, 대각의 고주파수 성분이 된다. 영상의 경우에 픽셀은 정수 값을 갖기 때문에 변환 과정에서 정보의 손실을 방지하기 위해서 다음 식 1, 2과 같이 변환과 역변환을 적용한다. i는 DWT의 적용 횟수, l은 픽셀의 좌표가 된다.

$$d_{i,l} = s_{i-1,2l+1} - s_{i-1,2l}, \quad s_{i,l} = s_{i-1,2l} + \lfloor d_{i,l}/2 \rfloor . \quad (1)$$

$$s_{i-1,2l} = s_{i,l} + \lfloor d_{i,l}/2 \rfloor , \quad s_{i-1,2l+1} = s_{i-1,2l} + d_{i,l} . \quad (2)$$

2. DWT 영역과 평균값차를 이용한 블록 매칭

블록 매칭은 캐리어와 은닉하려는 정보가 영상일 때 적용할 수 있는 정보 은닉 기법 중 하나로 같은 크기를 갖는 블록 사이의 거리를 최소화하는 블록의 주소를 찾아서 삽입하게 된다. 블록의 주소를 삽입하기 때문에 단순히 픽셀을 삽입하는 방법 보다 많은 정보를 삽입할 수 있으나 유사한 블록을 매칭해주는 방법이기 때문에 비밀 영상을 100% 삽입/추출을 할 수는 없게 되는 특성이 있다. DWT 영역에 블록 매칭을 이용하여 정보를 은닉하는 과정[12]은 다음과 같다.

step 1 : 커버 영상을 2D-DWT하여 LL, LH, HL, HH 부대역으로 분할한다.
step 2 : 비밀 영상과 LL 부대역을 $N \times N$ 크기의 서브 블록으로 중복되지 않도록 분할한다.
step 3 : 분할된 서브 블록 전체에 블록 평균값을 빼주어 새로운 서브 블록 $SB'_{sn}(y,x)$ 와 $CB'_{cn}(y,x)$ 을 생성한다.
step 4 : 비밀 영상의 서브 블록 $SB'_{sn}(y,x)$ 을 삽입하기 위해서 LL 부대역 전체의 서브 블록 $CB'_{cn}(y,x)$ $(1 \le cn \le \lfloor CH/N \rfloor \times \lfloor CW/N \rfloor$)에 대해서 유클리디언 거리가 최소가 되는 주소 cn을 찾는다.
step 5 : 비밀 영상의 서브 블록 전체 $(1 \le sn \le \lfloor SH/N \rfloor \times \lfloor SW/N \rfloor)$에 대해서 step 4를 반복한다.

매칭된 블록의 추출에 필요한 정보는 커버 영상의 주소인 cn과 블록 내 평균값이므로 커버 영상의 크기에 따라서 서브 블록 1개를 삽입하기 위한 비트의 수가 식 3과 같이 결정된다.

$$\lceil \log_2(\lfloor CH/2N \rfloor \times \lfloor CW/2N \rfloor) \rceil + 8. \quad (3)$$

위의 절차에 의해서 생성된 주소는 LSB 삽입을 통해서 LH, HL, HH 부대역에 삽입한다.

3. k-평균 군집화

동일한 차원의 특징을 갖는 데이터를 k개의 중심을 갖는 그룹으로 분할하는 방법 중의 하나이다. 중심의 설정과 데이터의 그룹화를 반복적으로 수행하여 최적의 그룹을 찾는 것이 목적이며 다음의 식 4의 V값을 최소화한다.

$$V = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2 . \quad (4)$$

μ_i는 i번째 그룹의 중심값이며 S_i는 i번째 그룹에 속하는 점들의 집합이다. 초기의 $\mu_i^{(0)}$로부터 각 데이터 x와의 유클리디언 거리를 계산하여 최소거리를 갖는 그룹 S_i로 할당하여 $S_i^{(0)}$를 생성한다. $S_i^{(0)}$가 생성되면 식 5를 통해서 $\mu_i^{(1)}$을 생성하며 그룹 S_i가 바뀌지 않을 때까지 반복적으로 수행한다.

$$\mu_i^{(t+1)} = \frac{1}{N_{S_i^{(t)}}} \sum_{j \in S_i^{(t)}}^{N_{S^{(t)}}} x_j \,. \tag{5}$$

Ⅲ. 제안 방법

블록 매칭 기법은 커버 영상과 비밀 영상의 분할된 블록 사이의 유클리디언 거리가 최소가 되는 블록으로 매칭을 해주는 방법으로 유클리디언 거리를 제외한 다른 요소는 고려하지 않는 방법이다. 그러므로 비밀 영상의 매칭정도는 뛰어나지만 반대로 모든 서브 블록에 대해서 동일한 조건으로 알고리즘을 수행하게 되므로 블록을 삽입하기 위한 주소의 크기가 커버 영상의 크기에 비례하여 증가하는 단점이 있다. 또한 후보군 블록은 모두 균등하게 사용되지 않으며 사용되는 블록의 수보다 사용되지 않는 블록의 수가 더 많을 수도 있다(표 1 참조).

또한 [12]의 방법과 같은 경우에 블록의 평균값을 빼주어 고주파수 성분의 유클리디언 거리를 비교하여 삽입을 하므로 블록 분산값이 작은 블록의 경우에 평균값의 차이만 발생하며 사실 유사한 후보군이라 볼 수 있다. 그림 2의 두 블록의 경우에 블록 분산이 각 4.875, 1.375이며 이와 같이 블록 내부 분산값이 작을 경우에 두 블록 중에서 어느 블록과 매칭을 해주더라도 비밀 영상의 복원에 큰 영향을 주지 않는다. 그러므로 분산값이 작은 블록의 경우에 블록간의 유클리디언 거리만을 고려하는 k-평균 군집화 알고리즘을 사용하여 저주파수 성분이 많이 포함된 유사한 후보군 블록의 수를 축소시켜서 삽입에 필요한 비트의 수를 감소시켜 삽입 용량을 증가시킬 수 있다.

1. 삽입 알고리즘

커버 영상에 DWT를 적용하고 비밀 영상과 LL 부대역의 블록을 고주파수 성분과 저주파수 성분으로 분할하기 위해

표 1. 미사용 후보군 블록의 비율
Table 1. Ratio of unused blocks

	cover \ secret	baboon	boat	lena	goldhill	einstein	average
Previous block matching method[12]	baboon	·	0.5305	0.5876	0.5037	0.5439	0.3020
	boat	0.1760	·	0.3379	0.2007	0.3162	
	lena	0.2410	0.1931	·	0.1995	0.2722	
	goldhill	0.1262	0.2632	0.3767	·	0.2722	
	einstein	0.1597	0.2429	0.3015	0.1953	·	

99	101	98	103	-1	1	-3	2
99	101	97	103	-2	0	-4	2
100	104	96	103	-1	3	-5	2
99	104	96	104	-2	3	-5	3
163	162	161	160	2	1	0	-1
162	162	162	161	1	1	1	0
162	162	163	161	1	1	2	0
162	163	163	161	1	2	2	0

그림 2. 4×4크기의 저주파수 블록 픽셀과 편차값
Fig. 2. Pixel and deviation values of low frequency blocks with a size of 4×4

서 블록의 평균 분산을 이용한다. 블록의 내부에 엣지나 코너점과 같은 요소가 존재할 경우에 픽셀 값들이 평균값과 차이가 크기 때문에 분산이 커지며 반대로 존재하지 않을 경우에 픽셀 값들이 평균값으로 수렴하기 때문에 분산이 작아진다. 이러한 특성으로 블록을 분할하기 위해서 커버 영상 LL 부대역의 평균 분산을 이용한다. 블록의 크기가 $N\times N$일 때 평균, 분산, 평균 분산은 다음 식 6과 같다.

$$m(h,w)=\frac{1}{N^2}\sum_{y=1}^{N}\sum_{x=1}^{N}B(y,x).$$
$$V(h,w)=\frac{1}{N^2}\sum_{y=1}^{N}\sum_{x=1}^{N}(B(y,x)-m(h,w))^2. \quad (6)$$
$$Vm=\frac{1}{\lfloor H/N\rfloor\times\lfloor W/N\rfloor}\sum_{h=1}^{H/N}\sum_{w=1}^{W/N}V(h,w).$$

블록은 평균값을 제외한 픽셀의 편차값을 갖는 블록을 이용하며, 커버 영상의 평균 분산 CVm으로 분산값이 큰 블록과 작은 블록으로 분할한다. LL 부대역의 경계값 이상과 이하의 서브 블록의 수를 각 H_C와 L_C 라고 할 때 LL 부대역의 경계값 이상과 미만인 서브 블록은 $CBH(n)\,(1\le n\le H_C)$와 $CBL(n)\,(1\le n\le L_C)(H_C+L_C=\lfloor LLH/N\rfloor\times\lfloor LLW/N\rfloor)$이며 LL 부대역의 저주파수 성분 블록 $CBL(n)$은 k-평균 군집화 알고리즘을 통해서 k개의 군집 중심점으로 축소시킨다. 군집화를 적용하면 $CBL(n)$블록의 최종 후보군 수는 k개가 된다.

커버 영상의 LL 부대역의 평균 분산값을 경계값으로 사용하며 동일한 방법으로 비밀 영상의 블록을 SBH와 SBL 블록으로 분할하고 SBH블록은 CBH와 SBL블록은 CBL 블록과 블록 매칭을 한다. 이 때 SBH블록과 SBL블록의 수는 $H_S+L_S=\lfloor SH/N\rfloor\times\lfloor SW/N\rfloor$ 이며 각 블록의 삽입 비트수는 식 7과 같다.

$$\lceil\log_2 H_C\rceil+9,\quad \lceil\log_2 k\rceil+9. \quad (7)$$

삽입 비트는 순서대로 비밀 영상 블록이 경계값 이상/이하를 구분하기 위한 1비트, 평균값 8비트, LL 부대역의 주소 정보로 구성된다. 전체 비밀 블록에 대해서 적용이 완료되면 전체 삽입 비트를 커버 영상의 LH, HL, HH 부대역의 LSB에 삽입한다.

2. 추출 알고리즘

스테고 영상에 DWT를 적용하고 LL 부대역으로부터 $CBH(n)\,(1\le n\le H_C)$와 $CBL(n)\,(n\le k)$블록으로 분할한다. LH, HL, HH 부대역으로부터 전체 삽입 비트를 추출하고 비밀 영상을 복원한다. 첫 번째 비밀 영상의 블록을 복원하기 위해서 추출된 첫 번째 비트를 통해서 경계값 이상인 고주파수 블록인지 저주파수 블록인지 확인한다. 고주파수 블록일 경우 전체 삽입 비트로부터 식 5의 $\lceil\log_2 H_C\rceil+9$ 만큼 비트를 읽어오고 저주파수 블록일 경우 $\lceil\log_2 k\rceil+9$ 비트를 읽어온다. 읽어온 비트로부터 평균값 m과 주소정보 n을 생성하고 $CBH(n)+m(h,w)$ 또는 $CHL(n)+m(h,w)$으로 $SB(y,x)\,(1\le y\le SH/N, 1\le x\le SW/N)$을 복원한다. 전체 비밀 영상의 블록에 대해 반복하여 전체 영상을 복원한다.

Ⅳ. 실험 및 결과

실험은 기존 블록 매칭 방법[12]과 제안된 방법의 삽입 용량, 커버 영상의 은닉성과 비밀 영상의 복원률을 비교하고 두 번째로 k-평균 군집화 알고리즘의 k값을 변화시켜가면서 결과를 비교해본다. 삽입용량을 확인하기 위해서 bpp(bits per a pixel)(식 8 참조)를 적용하였다. bpp는 비밀 영상 한 픽셀을 삽입하기 위해서 필요한 비트의 수이며 낮을수록 좋다. 은닉성과 복원률은 PSNR(peak signal to noise ratio) 식 9과 같으며 높을수록 원 영상과 유사하다는 의미이므로 은닉성이 증가하고 복원률이 높다고 볼 수 있다.

$$bpp=\frac{H_S(\lceil\log_2 H_C\rceil+9)+L_S(\lceil\log_2 k\rceil+9)}{SH\times SW}. \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{H \times W}\sum_{y=1}^{H}\sum_{x=1}^{W}(I(y,x) - K(y,x)),$$
$$PSNR = 10\log_{10}\frac{255^2}{MSE}. \quad (9)$$

1. 기존 블록 매칭 방법과 제안된 방법의 PSNR과 bpp비교

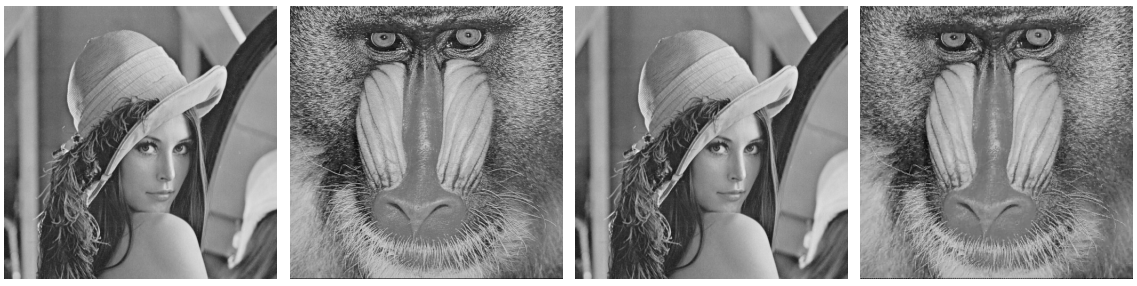
기존 볼록 매칭 방법[12]과 제안된 방법의 삽입 용량, 스테고 영상의 은닉성 복원률을 비교하기 위해서 512×512크기의 8비트, 1채널 영상 5개(baboon.bmp, boat.bmp, lena.bmp, goldhill.bmp, einstein.bmp)를 커버와 비밀 영상으로 사용한다(그림 3 참조).

실험은 4×4크기로 영상을 분할하여 삽입을 하였고 군집화 알고리즘의 k=16, LSB삽입의 대체 비트 수는 2비트로 하였다. 표 2의 결과는 제안된 방법과 기존 블록 매칭 방법의 복원된 비밀 영상의 PSNR에 대해서 보여준다. 제안된 방법의 경우 PSNR이 1dB정도 적지만 일반적으로

그림 3. 실험에 사용된 영상
Fig. 3. The images used for the experiment

표 2. 복원된 비밀 영상의 PSNR 비교
Table 2. Comparison of PSNRs of the reconstructed secret images

k=16	cover \ secret	baboon	boat	lena	goldhill	einstein	avg PSNR
Proposed method	baboon	·	29.6571	31.8239	30.6321	31.6769	30.1352
	boat	24.9024	·	32.2235	31.2385	31.8963	
	lena	24.7332	30.4375	·	31.2196	32.3236	
	goldhill	25.1387	30.3957	32.7187	·	32.2747	
	einstein	24.7003	30.2617	32.8924	31.5576	·	
Previous block matching method[12]	baboon	·	30.5114	33.0515	31.8763	33.1625	31.2605
	boat	25.4958	·	33.7779	33.0638	33.8743	
	lena	25.085	31.4592	·	32.83	34.2738	
	goldhill	25.4293	31.2489	33.7855	·	34.1571	
	einstein	24.9051	30.8846	33.6874	32.6512	·	



(a) (b) (c) (d)

그림 4. 커버 영상 (a), 비밀 영상 (b), 스테고 영상 (c), 복원 영상 (d)
Fig. 4. a cover image (a), a secret image (b), a stego image (c) and a restored image (d)

표 3. 스테고 영상의 PSNR 비교
Table 3. Comparison of PSNRs of the stego images

k=16	cover \ secret	baboon	boat	lena	goldhill	einstein	avg PSNR
Proposed method	baboon	·	41.5226	41.0724	42.0329	42.0946	45.3905
	boat	44.187	·	45.5445	46.1556	44.9641	
	lena	46.4636	46.8735	·	46.8713	47.0435	
	goldhill	46.2895	46.6819	46.8397	·	46.8911	
	einstein	46.3235	46.6211	46.7303	46.607	·	
Previous block matching method[12]	baboon	·	40.6875	41.3176	40.499	40.495	44.7574
	boat	44.9529	·	44.4863	44.4685	44.4567	
	lena	46.2412	46.1669	·	46.1737	46.1766	
	goldhill	46.1495	46.1294	46.108	·	46.0726	
	einstein	46.1579	46.1398	46.1349	46.1333	·	

표 4. bpp와 삽입 비트 수 비교
Table 4. Comparison of bpp and insertion bits

k=16	cover \ secret	baboon	boat	lena	goldhill	einstein	avg bpp avg insertion bits
Proposed method	baboon	·	0.94	0.91	0.91	0.89	0.96
			246043	239526	240170	233716	
	boat	1.0579	·	0.9159	0.9211	0.8935	
		277328		240092	241472	234230	
	lena	1.0788	0.9497	·	0.9362	0.9012	
		282806	248948		245420	236240	251658
	goldhill	1.1257	0.9697	0.9402	·	0.9127	
		295106	254219	246477		239253	
	einstein	1.1148	0.9773	0.9456	0.9711	·	
		292238	256202	247874	254570		
Previous block matching method[12]	all images	1.25					1.25
		327680					327680

PSNR이 30dB이상일 경우에 사람의 시각 정보 체계(human visual system)로는 원영상과의 구분이 힘들다고 하므로 크게 문제가 없음을 볼 수 있다. 반면에 baboon이 비밀 영상일 경우에 PSNR이 25dB정도가 나오게 되는데 baboon 영상의 경우에 평균 분산의 값이 굉장히 크며 고주파수 성분 블록의 수가 다른 영상에 비해서 많기 때문에 PSNR이 다른 복원된 영상들에 비해서 낮았다(표 2 참조). 하지만 결과 영상의 시각적인 차이는 크지 않음을 확인할 수 있다(그림 4 참조). 그리고 스테고 영상의 경우 제안된 방법이 1dB정도 더 큰 PSNR수치를 보였다(표 3 참조).

다음으로 삽입 용량의 경우에 bpp값을 계산하였는데 비밀 영상의 픽셀 하나를 삽입하기 위해서 요구되는 비트의 수이다. 기존 블록 매칭 방법의 경우 비밀 영상의 종류에 상관없이 요구되는 삽입 비트수가 동일하므로 bpp가 1.25로 동일한 값이 나왔으며 가장 높은 값임을 알 수 있다. 제안된 방법의 경우에 평균 bpp는 0.96으로 하나의 픽셀을 삽입하기 위해서 0.96비트 정도가 소요되며 기존 블록 매칭 방법의 bpp값의 77%정도에 해당하여 삽입 용량이 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 그리고 baboon영상의 경우 PSNR의 측면과 동일하게 고주파수 성분 블록의 수가 많아서 다른 영상들에 비해서 bpp수치가 0.1이상 높음을 알 수 있었다(표 4 참조).

2. 제안된 방법의 저주파수 블록의 군집화 수 *k*값의 변화에 따른 PSNR과 bpp 비교

이 절에서는 제안된 방법의 군집화 수 k값의 변화에 따라서 PSNR과 bpp의 결과에 대해서 알아본다. 군집화 수의 값 k는 식 5의 저주파수 블록의 삽입 비트 수에 영향을 주기 때문에 k값은 $2^n(1 \leq n)$로 사용하였으며 LSB는 동일

표 5. 군집 수에 대한 제안된 방법의 평균 PSNR, bpp, 삽입 비트 수
Table 5. Average PSNR, bpp and insertion bits of the proposed method according to the number of clusters

k	restored images average PSNR	stego images average PSNR	average bpp	average insertion bits
2	29.2487	46.1627	0.82	214958
4	29.6149	45.8916	0.83	217580
8	29.9399	45.5558	0.92	241172
16	30.1352	45.3905	0.96	251658
32	30.3223	45.4098	1.01	264765

하게 2비트를 사용하였다. k의 값을 증가시키면 저주파수 블록의 후보군의 수가 증가하므로 표 5의 평균 PSNR과 bpp를 통해서 PSNR의 부분에서 이득이 있지만 bpp의 부분에서 이득만큼 손실이 있는 것을 확인 할 수 있다. 고주파수 성분이 많은 baboon영상을 삽입하는 경우를 제외하고 고려해볼 경우 k의 값이 단지 4인 경우라도 대부분의 복원된 비밀 영상이 PSNR이 30dB이상을 보여주었으므로 적절한 PSNR과 bpp를 보여주는 k 값은 4이상의 k 값이 적절하다고 볼 수 있다. 그리고 표 3과 5의 스테고 영상 PSNR을 통해서 어떠한 k 값을 사용하더라도 제안된 방법이 더 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

기존 블록 매칭 기반의 스테가노그래피 방법의 경우 영상에서 고주파수 성분이 많은 블록과 적은 블록이 모두 있고 특히나 저주파수 성분의 블록이 영상의 전반적인 부분을 차지함에도 불구하고 모든 블록에 동일한 방법을 적용하였고 이런 불균등한 매칭으로 인해서 용량적인 부분에서 손실이 크게 발생하였다. 이러한 단점을 개선하고자 제안된 방법의 경우 커버 영상의 후보군 블록들을 블록의 분산값을 이용하여 고주파 성분 블록과 저주파 성분 블록으로 분류하고, 저주파 성분 블록들은 군집화 알고리즘을 이용하여 후보군의 블록 수를 크게 줄일 수 있었다. 결과적으로 이러한 방법을 통해서 삽입한 비밀영상의 PSNR은 유지하면서 삽입 용량을 크게 증가시킬 수 있었으며 스테고 영상의 PSNR의 경우 실험에서 제안한 어떠한 k 값을 사용하더라도 높은 PSNR을 보여주었다. 하지만 k-평균 군집화 알고리즘의 경우에 초기값에 민감하다는 단점을 갖고 있으므로 해당 부분에 대해서 새로운 군집화 알고리즘을 적용하여 성능을 더 개선할 여지가 있을 것이다. 또한 영상에서 중요한 정보라고 볼 수 있는 엣지나 코너점과 같은 성분들이 대부분 고주파수 성분 블록의 내부에 존재하기 때문에 이러한 부분은 최대한 보존을 하여서 영상 자체가 가지는 고유한 성질도 보존 할 수 있었지만 제안된 방법 뿐 아니라 블록 매칭 방법의 경우 실험 결과에서도 알 수 있는 것처럼 고주파수 성분 블록이 많은 baboon 영상과 같은 경우에 삽입한 비밀 영상의 복원률이 상당히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그래서 고주파수 성분 블록이 많은 비밀 영상의 경우에도 복원률을 향상시킬 수 있는 추가적인 방안을 연구할 필요가 있을 것이다.

참 고 문 헌 (References)

[1] J. Zollner, H. Federrath, H. Klimant, A. Pfitzmann, R Piotraschke, A. Westfeld, G. Wicke, and G. Wolf, “Modeling the Security of Steganographic Systems,” *Proc. of Workshop on Information Hiding*, pp. 345-355, 1988.

[2] H. Kim, “Theoretical Background and Detection Technique of Steganography,” *Journal of the Korea Information Security*, Vol. 12, No. 1, pp. 34-47, 2002.

[3] K. Jung, J. Lee, and K. Yoo, “Steganography on Android Smart Devices,” *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 52, No. 4, pp. 100-105, 2015.

[4] D. C. Wu and W. H. T, “A Steganographic Method for Images by Pixel-Value Differencing,” *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, pp. 1613-1626, 2003.

[5] J. Kim, H. Park, and J-I. Park, “PVD Image Steganography with Locally-fixed Number of Embedding Bits,” *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 22, No. 3, pp. 350-365, 2017.

[6] S. Ji, “A Study of Optimal Image Steganography Based on LSB

Techniques," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 20, No. 3, pp. 29-36, 2015.
[7] Y. Lee, Y. Seo, and D. Kim, "Hologram Watermarking using Fresnel Diffraction Model," *Proc. of the Korea Society of Broadcast Engineers Conference*, Vol. 19, No. 5, pp. 606-615, 2014.
[8] W. Sohn and L. N. T. dung, "A Blind Watermarking Scheme using Singular Vector Based on DWT/RDWT/SVD," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 149-156, 2016.
[9] Y. Lee, Y. Seo, and D. Kim, "A Robust Blind Watermarking for Digital Image using DWT According to Its Resolution," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 20, No. 6, pp. 888-900, 2015.
[10] S. Youssef, A. A. elfarag, and R. Raouf, "A Robust Steganography Model using Wavelet-based Block-partition Modification," *International Journal of Computer Science & Information Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 15-28, 2011.
[11] S. Singh and T. J. Siddiqui, "A Security Enhanced Robust Steganography Algorithm for Data Hiding," *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, No. 1, pp. 131-139, 2012.
[12] J. Kim, H. Park, and J-I. Park, "Image Steganography Based on Block Matching in DWT Domain," *Proc. of BMSB*, Cagliary, Italy, 2017.
[13] T. Kanungo, D. Mount, N. Netanyahu, C. Piako, R. Silverman, and A. Wu, "An Efficient *k*-means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. 24, No. 7, pp. 881-892, 2000.

저 자 소 개

김 재 영

- 2012년 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
- 2016년 ~ 현재 : 부경대학교 일반대학원 석사과정
- ORCID : http://orcid.org/0000-0003-2348-3626
- 주관심분야 : 스테가노그래피

박 한 훈

- 2000년 : 한양대학교 전자통신전파공학과 공학사
- 2002년 : 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 공학석사
- 2007년 : 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 공학박사
- 2008년 ~ 2011년 : NHK방송기술연구소 박사후연구원
- 2012년 ~ 현재 : 부경대학교 전자공학과 부교수
- ORCID : http://orcid.org/0000-0002-6968-4565
- 주관심분야 : 증강현실, 인간컴퓨터상호작용, 3차원 영상처리/비전 등

박 종 일

- 1987년 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1989년 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1995년 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1992년 ~ 1994년 : 일본 NHK방송기술연구소 객원연구원
- 1995년 ~ 1996년 : 한국방송개발원 선임연구원
- 1996년 ~ 1999년 : 일본 ATR지능영상통신연구소 연구원
- 1999년 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수
- ORCID : http://orcid.org/0000-0003-1000-4067
- 주관심분야 : 증강현실, 계산사진학, 3차원 컴퓨터비전, 인간컴퓨터상호작용