

비트 플레인 복잡도를 기반으로 한 스테가노그래피의 삽입 용량 비교

배재민⁰ 정성환
창원대학교 컴퓨터공학과

E-mail : jmbae@yahoo.co.kr, sjung@sarim.changwon.ac.kr

A Comparison of Embedding Capacity of Steganography based on Bit-Plane Complexity

Jae-Min Bae⁰ Sung-Hwan Jung
Dept. of Computer Engineering, Changwon National University

요 약

본 논문에서는 비트 플레인 상에서 지역적인 복잡도를 이용하여 커버 이미지를 분할한 후 비밀 데이터를 삽입하는 스테가노그래피 방법을 연구하였다. 이 방법은 복잡도를 이용하여 비트 플레인 이미지를 informative 영역과 noise-like 영역으로 나누고, noise-like 영역에 데이터를 삽입한다. 삽입되는 데이터가 간단하다면 image conjugation을 적용하여 복잡한 형태로 만들어 커버 이미지에 삽입한다. 본 연구에서는 삽입 용량을 증가 시키기 위해 복잡도를 모든 비트 플레인에 적용시키지 않고, 선택적으로 적용하여 46%의 최대 삽입용량과 화질의 증가를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

통신 기술이 발달함에 따라 디지털 미디어는 네트워크를 통해 손쉽게 편리하게 전송되어진다. 이에 따라, 전송 중에 비밀 데이터를 보호하는 방법이 중요한 이슈로 떠오르게 되었다. 이런 방법 중 고전적인 방법으로 암호화(cryptography)가 있다[1]. 이것은 데이터의 내용을 해독하기 어렵게 하기 위해 키를 이용하는 방법이다. 비밀 데이터를 보호하는 또 다른 방법으로서 스테가노그래피(steganography)가 있다[2].

스테가노그래피는 비밀 데이터를 다른 미디어에 포함하여 전송하므로써 다른 사람들은 비밀 데이터가 있는지 알 수 없도록 하는 방법이다. 즉, 커버 미디어(cover media)에 비밀 데이터를 삽입하여 새로운 스테고 미디어(stego media)를 만들어 전송하는 방법이다[3]. 암호화와 스테가노그래피의 차이점은 암호화는 비밀 데이터의 내용을 숨기는데 반해 스테가노그래피는 비밀 데이터의 존재 유무를 숨기는 것이다. 이런 스테가노그래피는 다음 세가지의 조건을 만족하여야 한다[4].

첫째는 비감지성(imperceptibility)이다. 이것은 비밀 데이터는 사람의 눈에는 보이지 않아야 한다는 것을 의미한다. 둘째는 비밀 데이터를 삽입할 수 있는 용량(maximal embedding capacity)으로서 이는 삽입하려는 비밀 데이터보다 항상 커야한다. 그리고 셋째는 보안성(security)이다. 즉, 중간에 제 3 자는 데이터를 검출할 수

없어야 한다.

스테가노그래피를 이미지에 적용한 방법에는 크게 공간 영역(spatial-domain)과 주파수 영역(frequency-domain), 두 가지로 나눌 수 있다. 공간 영역 기반 방법은 이미지의 픽셀 값에 직접적으로 비밀 데이터를 삽입하는 방법이며[5], 주파수 영역 기반 방법은 이미지를 먼저 주파수 영역으로 변환시킨 후 변환 계수에 비밀 데이터를 삽입하는 방법이다[6].

공간 영역 기반 방법의 가장 대표적인 예인 LSB(least-significant bit)삽입 방법은 비교적 중요하지 않는 각 픽셀의 LSB에 비밀 데이터를 삽입하는 방법이다[7]. 이 방법은 간단하게 구현 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Eiji Kawaguch[8]는 공간 영역에서 커버 이미지의 지역적인 복잡도(complexity)를 계산한 후, 계산되어진 복잡도에 임계치보다 큰 영역에 비밀 데이터를 삽입하였다. 이 방법은 복잡도를 이용하여 이진 이미지를 형태정보를 가지는 informative 와 그렇지 않은 noise-like 영역으로 나눌 수 있다는 기본 지식을 바탕으로 한다. 인간의 시각은 noise-like 영역의 데이터를 다른 데이터로 바꾸어도 변화를 잘 감지할 수 없는 특성이 있다. 그러므로 이런 특성을 이용하여 이미지의 noise-like 한 영역에 비밀 데이터를 삽입할 수 있다. 만일 삽입하려는 데이터가 단순(simple)하다면, "conjugation operation"을 적용하여 삽입 데이터를 복잡한 패턴으로 바꾸어 삽입한다.

본 논문에서는 Eiji Kawaguch의 방법을 기반으로 하여

본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원 사업으로 수행 되었음.

기존 연구와는 달리 모든 비트 플레인에 복잡도를 적용하지 않고, 선택적으로 적용하여 비밀 데이터를 삽입하는 연구를 하였다.

2. 이진 이미지의 복잡도

일반적인 이진 이미지의 복잡도를 계산하는 방법은 일정하게 정의된 것은 없으며, 여기서는 black 과 white 경계의 길이(border length)를 이용하여 계산한다.

Black 과 white 경계의 길이는 이미지의 가로와 세로에 따른 컬러 변화(color-change)수의 합과 같다. 예를 들어 흰색 배경으로 둘러싸인 검은 점은 4의 경계 길이를 가지며, 흰색 또는 검은 색 이미지의 경계 길이는 0이다. 그러므로, 경계 길이는 크기 $2^m \times 2^m$ 블록의 이미지에서 최소 0에서 $2 \times 2^m \times (2^m - 1)$ 의 최대값을 가진다.

이진 이미지 복잡도(a)는 블록에서 컬러 변화의 수를 계산한 후, 이를 최대 경계길이로 나눈 값으로서 식(1)과 같이 정의된다.

$$a = \frac{c}{2 \times 2^m \times (2^m - 1)} \quad (1)$$

여기서, c 는 블록이미지의 컬러 변화의 수이며, 2^m 은 블록의 가로, 세로 길이를 나타낸다. 복잡도의 범위는 아래와 같다.

$$0 \leq a \leq 1 \quad (2)$$

일반적으로, 비트 플레인 이미지는 이진 이미지이며, 비트 플레인이 LSB에 가까울수록 더욱 더 복잡한 noise-like 패턴을 가진다.

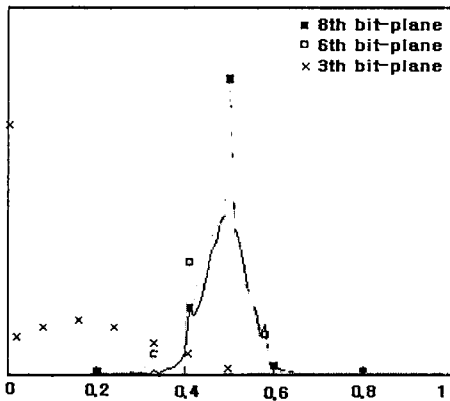


그림 1. 복잡도 스펙트럼

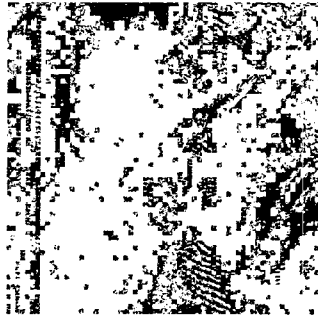
그림 1은 512×512 , 8bit/pixel 크기의 Lena 이미지를 비트 플레인으로 나누고, 각 비트 플레인에 대한 이진 이미지의 복잡도 스펙트럼을 나타낸 것이다. LSB에 가까워질수록 복잡도는 0.5의 값을 가지는 영역이 많은 것을 볼 수 있으며, MSB로 갈수록 복잡도가 높은 영역이 줄어들어 볼 수 있다. 그림 1에서 사람의 시각특성과 관련하여 이진 이미지를 복잡도를 이용하여 informative 한 영역과 noise-like 한 영역으로 분할 수 있다는 것을 알

수 있다.

그림 2의 (a)는 5 비트 플레인의 이진 이미지이며, (b)는 복잡도를 이용하여 분할된 이진 이미지이다. 그림 2의 (b)에서 흰 영역은 $a \geq 0.4$ 를 만족하는 복잡도가 높은 영역을 나타내며 이는 noise-like 영역에 해당된다. 한편, 복잡도가 낮은 영역은 시각이 인지할 수 있는 형태(shape)정보 영역에 대응된다고 할 수 있다.



(a) 5 비트 플레인



(b) 분할 결과($a = 0.4$)

그림 2. 복잡도를 이용한 이미지 분할

Eiji Kawaguch은 복잡도와 “noise-like”영역에 대한 관계를 정의하기 위해 실험을 통해 $2^3 \times 2^3$ 크기의 영역에서 발생할 수 있는 모든 가능한 패턴의 복잡도를 계산하였다[8]. 복잡도 히스토그램을 분석한 결과, 정규분포를 따르며 noise-like 영역과 informative 영역을 나누는 가장 적당한 임계치를 평균과 표준편차를 이용하여 구할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

3. 이진 이미지의 Conjugation

그림 3에서 P 를 검은색을 전경색으로 하고, 흰색을 배경색으로 하는 $2^m \times 2^m$ 크기의 black-and-white 이미지라 하고, W 와 B 를 각각 흰색과 검은색 패턴의 이미지라 정의하자. 그리고 Wc 와 Bc 를 최상위 왼쪽 첫번째가 흰색과 검은색 패턴의 이미지라고 각각 정의하자. 그러면, 그림 3의 (f)는 P 의 Conjugate P^* 로서 다음을 만족한다.

- (1) foreground 영역의 형태(shape)는 P 와 같다.

- (2) foreground 영역은 B_c 패턴이다.
- (3) background 영역은 W_c 패턴이다.

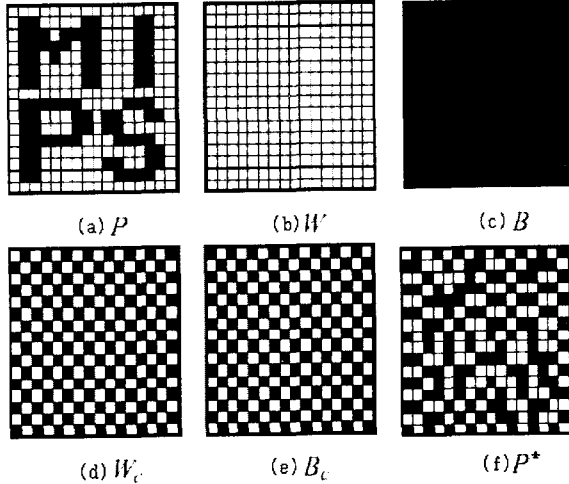


그림 3. Conjugation 이미지 패턴($m=4$)

P 와 P^* 는 1:1 대응이며, Conjugation 연산에 의해 다음과 같은 특성을 가진다.

- (a) $P^* = P \oplus W_c$
- (b) $(P^*)^* = P$
- (c) $P^* \neq P$
- (d) $a(P^*) = 1 - a(P)$

\oplus 는 Exclusive OR 연산자이며, $a(P)$ 는 주어진 이미지 P 의 복잡도를 나타낸다. 특성 (d)는 형태 정보에 대한 손실 없이 간단한 이미지를 복잡한 이미지로 변화시킬 수 있다는 것을 말한다. 삽입하려는 데이터의 복잡도가 임계치를 넘지않을 경우 지역적인 conjugation operation 을 적용하여 삽입한다.

4. 복잡도를 이용한 데이터 삽입 방법

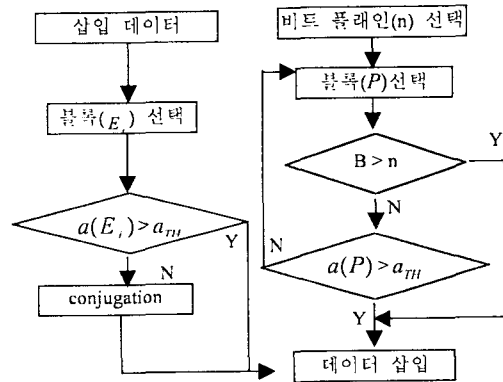
삽입 방법은 아래와 같이 4 단계로 이루어 진다.

[단계 1] $2^M \times 2^M$, N -bits/pixel 이미지 데이터를 N -bits 그레이 코드 형태로 변환한다.

[단계 2] 이미지를 N 비트 플레인으로 나눈다. 나누어진 각 비트 플레인 이미지는 이진 이미지이다.

[단계 3] 각 비트 플레인을 $2^m \times 2^m$ 크기의 블록으로 나누고 블록은 $P_i; i = 1, 2, \dots, 4^{M-m}$ 으로 정의된다. 그러므로 각 비트 플레인의 블록은 $I_n = P_1^n, P_2^n, \dots, P_{4^m}^n$ 로 표현된다. 같은 방법으로 n -bit "conjugation map"은 $C_n = Q_1^n, Q_2^n, \dots, Q_{4^m}^n$ 로 표현된다. 각 Q 값은 0 또는 1 의 값을 가지며, 1 의 값을 가질 경우 해당 블록이 "conjugation operation"이 적용되었다는 것을 의미한다. 삽입되는 비밀 데이터 E 는 $E_j; (j=1, 2, \dots, J)$ 로 표현되며

이는 비트 플레인과 같은 방법으로 E 를 $2^m \times 2^m$ bits 로 나눈 블록을 의미한다. 이진 패턴 E_j 은 커버 이미지의 각 비트 플레인 블록 P_i^n 에 맵핑 된다.



삽입 순서는 가장 낮은 비트 플레인에서 상위 비트 플레인 순으로 삽입된다. P_i 블록의 복잡도가 임계값보다 작거나, 비트 플레인이 B 보다 크다면 E_j 를 삽입한다. 삽입방법은 E_j 의 패턴이 간단하다면, 즉 복잡도가 임계값 보다 작다면 E_j 에 "conjugation operation"이 적용되며, 해당되는 블록 P_i 의 "conjugation map" 값을 "1"바꾼다.

[단계 4] 데이터가 삽입된 비트 플레인은 N 비트의 그레이 코드에서 원래의 이미지 데이터 형태로 변환한다.

검출은 a_{th} 와 "conjugation map"이 없다면 불가능하며, 삽입 알고리즘과 반대로 하여 삽입된 비밀 데이터를 검출한다.

5. 실험 결과

실험은 512×512 , 8bit/pixel 크기의 그레이 이미지를 사용하였으며, 각 비트 플레인(bit plane)의 블록 크기는 $8 \times 8(m=3)$ 의 크기로 나누었다. 실험에서는 단지 최대용량에 대한 실험이므로 삽입되는 비밀 데이터는 랜덤하게 데이터를 발생시켜 삽입하였다.

첫번째 실험에서 복잡도(a_{th}) 임계치를 0.3 로 고정시킨 후 최대용량을 계산하였다. 또한, 복잡도를 적용하지 않는 LSB 수를 증가시키며 데이터를 삽입하였다.

실험결과 <표 1>과 같이 모든 비트 플레인에 복잡도를 적용하는 기존의 방법에 비해 LSBs 에 선택적으로 복잡도를 적용함으로써 기존 방법에 비해 약 6,000byte(2%)까지 용량을 증가시킬 수 있었다. 그림 4 는 결과 이미지이다.

<표 1> 비트 플래인의 복잡도 적용에 따른 삽입용량 비교

복잡도 적용 유무	최대 용량
모든 bit-plane 적용(기존방법)	115,992 byte (44.24%)
8 bit plane 적용하지 않음	116,128 byte(44.29%)
8~7 bit plane 적용하지 않음	116,448 byte(45.42%)
8~6 bit plane 적용하지 않음	122,776byte(46.83%)

<표 2> 같은 양의 데이터 삽입에 따른 SNR 비교

복잡도 적용	SNR
모든 bit-plane 적용(기존방법)	31.06 dB
8 bit plane 적용하지 않음	31.11 dB
8~7 bit plane 적용하지 않음	31.21 dB
8~6 bit plane 적용하지 않음	34.15 dB



(a) 커버 이미지 (b) 최대용량 삽입

그림 4. 최대용량을 삽입한 결과

그림 5는 삽입 용량을 일정하게 한 후, 각 비트 플래인 별 복잡도 적용 유무에 따른 결과 이미지이다. 실험에서 삽입된 전체 커버 이미지의 43%에 해당하는 112,896byte를 삽입하였다. <표 2>에서 보듯이 SNR을 이용하여 삽입된 이미지의 화질을 비교한 결과, 기존 방법보다 같은 크기의 용량을 삽입하였을 경우, LSB 선택적 비트 플래인 삽입 방법이 화질에서 약 3dB 정도 개선되어짐을 알 수 있다.



(a) 커버 이미지 (b) 모든 bit plane 복잡도 적용

(c) 8 bit plane 적용하지 않음 (d) 8~6 bit plane 적용하지 않음

그림 5. 같은 양의 데이터 삽입 이미지

6. 결론

본 논문에서는 비트 플래인 복잡도에 따른 스테가노그래피의 삽입 용량을 연구하였다. 이것은 Eiji Kawaguch가 제안한 방법을 바탕으로 이미지의 각 비트 플래인의 지역적인 복잡도를 이용하여 noise-like 영역과 informative 영역으로 분할하고, '시각이 noise-like 영역의 변화에 민감하지 않은 점'을 이용하여 데이터를 삽입하는 방법이다. 기존 연구와 달리 고정적으로 복잡도를 각 비트 플래인에 모두 적용하지 않고, 선택적으로 적용함으로써 삽입 용량과 화질을 부분적으로 개선시켰다. 즉, LSBs에 선택적으로 적용함으로써 6Kbyte의 용량 증가와 SNR이 3dB 증가되는 화질 개선을 얻을 수 있었다.

향후 연구 과제로 화질의 저하를 감소시키며 데이터 삽입 용량을 증가시키는 방법과 비밀키를 적용한 스테가노그래피의 모델연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] P. Wayner, Digital Copyright Protection, AP Proc. pp.13~32,1997.
- [2] D. Kahn, The History of Steganography, Proceedings of the first workshop on information Hiding, Lect Notes in Comput. Sci., pp.1~5, 1996.
- [3] S. Katzenbeisser, F. Petitcolas, Information Hiding, Artech House, 2000.
- [4] Y. K. Lee, L. H. Chen, "High Capacity Image Steganographic Model," IEEE Proc. Image and Signal Processing, vol. 147, pp. 288~294, 2000.
- [5] M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen, "Digital Signature of Color Images using Amplitude Modulation," Proc. SPIE, vol.3022, pp. 518~526, 1997.
- [6] I. J. Cox, L. Leighton, T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans, vol. 6, no. 12, pp.1673~1687, 1997.
- [7] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A Watermarking for Digital Images," Proc. IEEE ICIP, vol.3, pp.219~222, 1996.
- [8] Michiharu Niimi, Hideki Noda and Eiji Kawaguch, "An Image Embedding in Image by a Complexity Based Region Segmentation Method," Proc. ICIP, vol.3, pp.74~77, 1997.