

보간법과 개선된 JPEG 예측을 통한 스테가노그래픽 기법 연구

Steganographic Method Based on Interpolation and Improved JPEG Prediction

전 병 현*	이 길 제*	정 기 현**	유 기 영*
Byoung-Hyun Jeon	Gil-Jae Lee	Ki-Hyun Jung	Kee-Young Yoo

ABSTRACT

The previous steganographic methods by using the interpolation were difficult to estimate the distortion because the size of cover image is extended by interpolation algorithms. In this paper, to solve the problems of previous methods proposed the improved steganographic method based on the pixel replacement algorithms. In our method, we cannot extend a cover image, but also can estimate exactly the distortion of the stego-images. In the experimental results, the estimated distortion and embedding capacity of stego-image are shown on three pixel replacement methods.

Keywords : Interpolation(보간법), Steganography(스테가노그래피), JPEG Prediction(JPEG 예측), PSNR

1. 서론

유/무선 네트워크 기술이 발전함에 따라 인터넷을 통한 멀티미디어 자료 전송이 활발해지고 있다. 또한 이러한 멀티미디어 자료를 이용하여 비밀 데이터 전송에도 많이 사용되어지고 있다. 비밀 데이터를 안전하게 보내기 위해서는 일반적으로 암호화와 스테가노그래피 방법을 사용한다.

스테가노그래피(Steganography)는 문서나 이미지, 동

영상과 같은 멀티미디어에 비밀 데이터를 삽입하여 공격자가 전달되는 파일을 보더라도 비밀 정보가 숨겨져 있다는 사실을 모르게 하는 기법으로 스테가노그래피와 관련하여 많은 방법들이 제안되어 왔으며, 그 응용범위도 매우 넓다^{1~5)}.

그 중에서도 다른 멀티미디어 자료로 확대 가능한 이미지에 대한 스테가노그래피 기법이 많이 연구되고 있다. 이러한 이미지를 이용한 스테가노그래피에서는 공간영역과 주파수영역으로 기법들로 분류할 수 있다. 공간영역기법은 이미지의 픽셀 값을 직접 수정하여 비밀 데이터를 삽입하고 추출하지만, 이미지의 왜곡이나 공격에 취약하다. 주파수영역기법은 이미지를 DCT, DWT와 같은 변환 방법으로 이미지의 고주파 영역과 저주파 영역으로 나누어 비밀 데이터를 삽입한다. 이

† 2013년 1월 28일 접수~2013년 2월 22일 게재승인

* 경북대학교

** 영진전문대학 컴퓨터정보계열

책임저자 : 전병현(bhjun64@hanmail.net)

방법은 숨길 수 있는 비밀 데이터의 양은 많지 않지만, 이미지 왜곡이나 공격에 강한 특징을 가진다.

최근 공간영역을 활용한 방법에서 보간법을 이용한 스테가노그래픽 기법이 제안되었다^[6~8]. 보간법을 이용할 경우, 기존의 스테가노그래픽 기법과 달리 커버 이미지에 대한 전처리 과정을 거치므로 숨길 수 있는 비밀 데이터를 크기를 늘릴 수 있다. 하지만 보간법을 이용한 기존 방법의 경우, 커버 이미지의 확대로 비밀 데이터가 스테고(Stego)-이미지의 왜곡을 정확하게 측정하지 못하는 문제점을 가진다.

따라서 본 논문에서는 기존의 방법들을 개선하여 보간법을 이용한 확대가 아닌 커버 이미지의 픽셀 교체(Replacement)를 통하여 삽입된 이미지에 대한 정확한 왜곡 측정과 JPEG 예측(Prediction)을 적용한 스테가노그래픽 기법을 제안한다.

2. 관련연구

본 장에서는 스테가노그래픽 기법에서 기본적으로 사용되는 LSB와 PVD 기법에 대해서 살펴본다. 또한 보간법을 이용한 이미지 확대 기법에 대해서는 설명한다.

가. 1 LSB기법

LSB기법^[9~11]은 그레이스케일 커버 영상의 한 픽셀 내에 존재하는 8-비트 중 최하위 비트를 비밀 데이터로 변경하여 숨기는 것으로 최하위 비트가 변경될 경우 변하는 픽셀의 값이 사람의 시각적인 측면(HVS)에서 이미지가 변경된 사실을 인지할 수 없다는 사실을 이용하고 있다. 그 이유는 최상위 비트의 경우 변경되는 값이 ± 127 이지만, 최하위 비트의 경우 변경되는 값이 최대 ± 1 값이 변하기 때문이다.

이러한 사실을 기반으로 LSB 기법이 제안되었고, 8bit 중 LSB 3-비트까지 변화시키더라도 HVS는 인지할 수 없다고 사실이 실험적으로 증명되었다.

LSB의 비밀데이터 삽입량은 커버 이미지의 크기가 512×512 크기로 주어질 경우, 비밀 데이터를 LSB- k 로 숨길 경우 $k \times 262,144$ 크기만큼의 비밀 데이터를 숨길 수 있게 된다. 하지만 공간영역의 이미지 특성상 스테고-이미지의 훼손, 변형, 왜곡 등의 공격이 발생될 경우 비밀데이터를 정확히 추출하기 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 여러 방법이 연구되어졌으

며, 최적화된 LSB 치환 방법과 유전자 알고리즘에 기반을 둔 접근적 최적화 LSB 치환 방법 등이 제안되었다.

나. 2 PVD 기법

PVD(Pixel-Value Differencing) 기법^[11,12]은 연속되는 두 픽셀의 명암과 부드러움 정도에 따라 삽입되는 비밀데이터의 비트수를 다르게 숨기는 방법으로 Wu 등에 의하여 처음 제안되었다.

PVD 기법은 그레이스케일 커버 이미지에서 중복되지 않는 연속적인 두 픽셀의 값을 각각 p_i 와 p_{i+1} 라고 가정하면, 두 픽셀의 차이값 d_i 는 다음 수식에 의해 계산된다.

$$d_i = |p_i - p_{i+1}| \quad (1)$$

단, $0 \leq d_i \leq 255$ 조건을 만족한다. 차이값이 계산되어지면, 숨길 수 있는 비트 수 n 은 다음과 같이 계산한다.

$$n = \log_2(u_i - l_i + 1) \quad (2)$$

여기에서 u_i 와 l_i 은 범위 테이블 $R_i(i = 1, 2, \dots, u_i)$ 에서의 상계(Upper Bound)와 하계(Lower Bound) 범위의 값을 나타낸다. 이후, 비밀자료 S 에서 n 개의 비트 값을 가져와 식 (3) 같이 새로운 차이값을 산출한다.

$$d'_i = |l_i + b| \quad (3)$$

여기서 b 는 n 값 계산을 위한 부분 비밀 데이터에 대한 정수값을 나타낸다.

d'_i 값이 산출되면 스테고-이미지에 해당되는 새로운 두 픽셀의 p_i 과 p_{i+1} 가 만들어진다.

다. 기존의 보간법을 이용한 이미지 확장

보간법^[13]은 일반적으로 영상 처리에서 주어진 원본 이미지를 확대/축소하는 것으로서 원본 이미지를 확대할 경우 일부 픽셀값을 할당받지 못하는 홀(Hole)이라고 부르는 픽셀들이 발생하게 된다. 이 홀에 적당한 데이터값을 할당하는 것이다. 이러한 보간법으로는 선형(Linear), 이중선형(Bilinear), 라그랑주(Lagrange) 보간법 등이 있다.

Fig. 1은 4×4 이미지에 대한 이중 선형 보간법을 적용한 예를 보여준다.

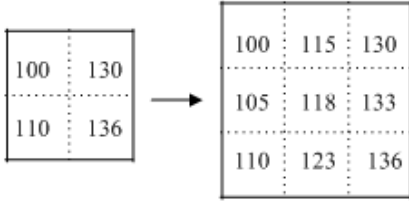


Fig. 1. 2중 선형보간법에 의한 확장

보간법을 이용한 이미지 확장에서는 커버이미지의 확장을 통해 숨길 수 있는 비밀데이터의 용량을 크게 개선하였다. 하지만, 커버이미지와 이미지 크기가 확장된 스테고-이미지의 왜곡이 정확하게 측정되지 않는 문제점이 발생하였다.

3. 제안방법

본 장에서는 보간법을 이용하여 이미지를 확대하는 대신 픽셀의 위치를 지정해 보간법을 이용하여 픽셀값을 대체하는 방법에 대해 살펴본다. 또한, 보간법 이외에 JPEG 예측 기법을 제안한다.

가. 픽셀값 대체를 이용한 삽입/추출기법

삽입과정에서 보간법을 이용하여 픽셀값 대체와 PVD를 이용한 삽입을 처리한다. 우선, $m < m$ 크기의 커버이미지(CI)를 선택하고, 보간법을 이용한 픽셀 값 대체한다. 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 CI(x+1,y) &= CI(x,y) + CI(x+2,y)/2 \\
 CI(x,y+1) &= CI(x,y) + CI(x,y+2)/2 \\
 CI(x+1,y+1) &= CI(x,y) + CI(x+2,y+2)/2
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

이 때, x 와 y 는 픽셀의 좌표를 나타내며, $x < m$ 이고, $y < m$ 이다.

Fig. 2는 보간법을 이용한 픽셀값의 대체 처리과정의 예를 보여준다.

이후, 대체된 커버이미지를 이용해 PVD 방법으로 비밀데이터를 삽입하여 스테고-이미지를 생성한다. 비밀데이터를 추출할 때는 스테고-이미지에서 PVD 방법을 이용하여 비밀데이터를 추출한다.

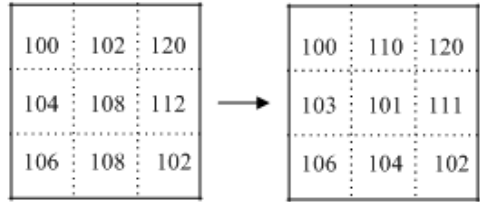


Fig. 2. 보간법을 이용한 픽셀값

나. JPEG 예측을 이용한 삽입/추출 기법

JPEG 예측 기법^[14]은 JPEG 압축 기술의 한 부분으로 픽셀값 예측을 통해 이미지의 값을 대체하는데 사용되어왔다. 기존의 JPEG 예측 기법은 Fig. 3과 같이 x 의 픽셀 값을 a, b, c 의 값을 참조하여 대체시키는 방법이다.

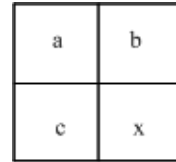


Fig. 3. 2×2 픽셀 구성

JPEG 예측 기법의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 x &= \min(a, b), \text{ if } c \geq \max(a, b) \\
 x &= \max(a, b), \text{ if } c \leq \min(a, b) \\
 x &= a + b - c, \text{ else}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

삽입과정에서는 개선된 JPEG 예측 기법을 기반으로 하여 픽셀값 대체 방법을 제안한다. 개선된 방법의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 CI(x+1,y) &= \min(CI(x,y), CI(x+2,y)) \\
 &\text{ if } (CI(x,y+2) \geq \max(CI(x,y), CI(x+2,y))) \\
 CI(x+1,y) &= \max(CI(x,y), CI(x+2,y)) \\
 &\text{ if } (CI(x,y+2) < \max(CI(x,y), CI(x+2,y))) \\
 CI(x+1,y) &= Ci(x,y) + CI(x+2,y) - CI(x,y+2) \\
 &\text{ otherwise}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CI(x,y+1) &= \min(CI(x,y), CI(x,y+2)) \\
 &\text{ if } (CI(x+2,y+2) \geq \max(CI(x,y), CI(x,y+2))) \\
 CI(x,y+1) &= \max(CI(x,y), CI(x,y+2)), \\
 &\text{ if } (CI(x+2,y+2) \leq \max(CI(x,y), CI(x,y+2))) \\
 CI(x,y+1) &= CI(x,y) + CI(x,y+2) - CI(x+2,y+2) \\
 &\text{ otherwise}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 CI(x+1,y+1) &= \min(CI(x,y), CI(x+2,y+2)) \\
 &\quad \text{if } (CI(x+2,y) \geq \max(CI(x,y), CI(x+2,y+2))) \\
 CI(x+1,y+1) &= \max(CI(x,y), CI(x+2,y+2)) \\
 &\quad \text{if } (CI(x+2,y) \leq \max(CI(x,y), CI(x+2,y+2))) \\
 CI(x+1,y+1) &= CI(x,y) + CI(x+2,y+2) - CI(x+2,y) \\
 &\quad \text{otherwise}
 \end{aligned}$$

Fig. 4는 JPEG 예측 기법을 이용한 새로운 픽셀값 대체 기법의 예를 보여준다.

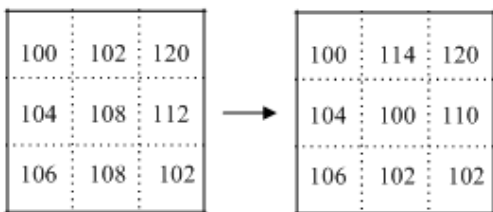


Fig. 4. 개선된 JPEG 예측기법을 이용한 픽셀값

위와 같이 픽셀값 대체 기법을 적용하고 난 후, PVD 기법을 이용하여 이미지에 비밀데이터를 삽입하고, PVD 기법을 통해 비밀데이터를 추출할 수 있게 된다.

4. 실험결과

실험은 크게 커버이미지와 픽셀값을 대체한 이미지의 왜곡 비교와 이중 보간법을 이용한 방법과 개선한 JPEG 예측 기법을 이용한 방법에서 스테고-이미지의 삽입되는 용량과 왜곡을 비교한다. Fig. 5에서처럼 실험에 사용된 커버이미지는 512×512 크기를 가진다.



Fig. 5. 실험에 사용된 커버이미지

Table 1은 커버이미지와 픽셀값 대체를 수행한 이미지의 왜곡 비교를 나타낸다. 왜곡 측정에는 시각적으로 변형된 정도를 나타내는 PSNR 값을 이용하였다.

Table 1. 커버이미지-픽셀값 대체 이미지 왜곡 비교

커버 이미지	2중 선형 보간법	개선된 JPEG 예측	Nearest Neighbor
	PSNR(dB)	PSNR(dB)	PSNR(dB)
Airplane	31.24	24.85	26.98
Baboon	22.88	21.07	21.74
Boat	29.05	24.87	26.62
Lena	33.10	27.10	28.79
Peppers	31.57	26.44	28.14
Tiffany	31.05	21.98	29.52

Fig. 6은 PSNR 값이 제일 낮게 나온 개선된 JPEG 예측 기법에 대한 스테고-이미지를 보여주고 있다. 평균 PSNR이 24.39dB로 사람의 육안으로 변형을 알 수 있는 값임에도 불구하고, 전처리 과정에 대한 결과값으로 최종 비밀데이터를 숨긴 후에는 평균 38.99dB값을 유지하므로 문제가 되지 않는다.



Fig. 6. 개선된 JPEG 예측 기법의 스테고-이미지

Table 2는 픽셀값 대체 이미지와 스테고-이미지의 왜곡 비교와 스테고-이미지에 삽입된 비밀데이터의 양을 측정하였다.

실험 결과에서 스테고-이미지 비교를 통한 삽입되는 용량과 이미지의 왜곡은 비슷하지만, 삽입되는 용량이

개선된 JPEG 예측 기법의 이미지를 사용하였을 때 더 높았지만, 이미지의 왜곡은 이중 선형 보간법을 통한 이미지를 사용했을 때 보다 많이 발생하였다.

Table 2. 픽셀값 대체 이미지와 스테고-이미지의 왜곡 및 삽입된 데이터 용량

이미지	2중 선형 보간법		개선된 JPEG 예측		Nearest Neighbor	
	PSNR (dB)	용량 (bit)	PSNR (dB)	용량 (bit)	PSNR (dB)	용량 (bit)
Airplane	41.38	407,114	39.12	414,743	38.74	417,104
Baboon	40.20	424,928	35.40	466,853	35.56	463,195
Boat	41.24	408,622	38.60	424,190	38.55	424,235
Lena	41.97	403,590	40.11	412,869	39.96	412,090
Peppers	41.77	402,184	40.40	408,673	40.14	408,812
Tiffany	43.04	385,316	40.31	385,903	41.40	386,661

Table 1을 통해 이미지의 왜곡은 데이터를 삽입할 때 보다 커버이미지를 대체할 때 많이 발생하는 것을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 보간법을 이용한 스테가노그래피에서 커버이미지의 확대로 비밀정보가 삽입된 스테고-이미지에 대해서 왜곡을 정확하게 측정하지 못하는 문제점을 해결하기 위해 픽셀값을 대체하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 커버이미지와 픽셀값을 대체한 이미지의 왜곡과 픽셀값을 대체한 이미지와 비밀데이터를 삽입한 스테고-이미지의 왜곡 및 데이터 삽입 용량 측정을 정확하게 측정할 수 있었다.

References

- [1] N. F. Johnson and Jajodia, "Exploding Steganography : Seeing the Unseen", Computer Practices, Vol. 31, No. 2, pp. 26~34, 1998.
- [2] R. J. Anderson and F. A. P. Petitcols, "On the Limits of Steganography", IEEE Journal on Selected Areas in communications, Vol. 16, No. 4, pp. 747 ~781, 1998.
- [3] Y. R. Park and J. H. Park, "A Study of Steganography Using Cartoon Image", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 7, No. 7, pp. 913 ~921, 2004.
- [4] N. Johnson and S. Jajodia, "Steganalysis of Images Created Using Current Steganography Software", Second Information Hiding Workshop held in Portland, Oregon, USA, LNCS 1525, pp. 273~289, 1998.
- [5] E. Kawaguchi, H. Noda, and M. Niimi, "Image Data Based Steganography", Information Processing Society of Japan(IPSJ MAGAZINE), Vol. 44, No, pp. 223~241, 2003.
- [6] K. H. Jung and K. Y. Yoo, "Steganographic Method Based on Three Directional Embedding", 7, 3~5, 2010.
- [7] C. F. Lee and Y. L. Huang, "An Efficient Image Interpolation Increasing Payload in Reversible Data Hiding", Expert Systems with Applications, Vol. 39, pp. 6712~6719, 2012.
- [8] W. Hong and T. S. Chen, "Reversible Data Embedding for High Quality Images using Interpolation and Reference Pixel Distribution Mechanism", J. Vis. Commun. Image R., Vol. 22, pp. 131~140, 2011.
- [9] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hidding Data in Images by Simple LSB Substitution", Journal of Pattern Recognition, Vol. 37, No. 3, pp. 469~474, 2004.
- [10] R. Z. Wang, C. F. Lin, and J. C. Lin, "Image Hiding by Optimal LSB Substitution and Genetic Algorithm", Journal of pattern Recognition, Vol. 34, No. 3, pp. 671~683, 2001.
- [11] H. C. Wu, N. I. Wu, C. S. Tsai, and M. S. Hwang, "Image Steganography Scheme Based on Pixel-Value Differencing and LSB Replacement Methods", Visual Image Signal Processing, Vol. 152, No. 5, pp. 611~615, 2005.
- [12] D. C. Wu and W. H. Tsai, "A Steganographic Method for Images by Pixel-Value Differencing",

Journal of Pattern Recognition Letters, Vol. 24, No. 9-10, pp. 1613~1626, 2003.

[13] R. E. Crochiere and L. R. Rabiner, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice-Hall, 1983.

[14] H. Noda, J. Spaulding, M. N. Shirazi, M. Nimi, and E. Kawaguchi, with JPEG2000 Compression, Proceedings of Pacific Rim Workshop on Digital Steganography(STEG 2002), pp. 98~107, 2002.