

컬러색인영상에서 가상확장 코드북을 이용한 무손실 워터마킹

A Reversible Watermarking Algorithm Utilizing Virtually Extended Codebook in the Index Image

최용수*, 김형중, 양재수
(Yong-Soo Choi, Hyoung-Joong Kim, Jae-Su Yang)

Abstract: 대부분의 컬러 영상들은 코드북의 일부분만으로 표현할 수 있는 영상의 영역이 상당히 크므로 이러한 특징을 이용하는 효율적인 Reversible 워터마킹 기법을 제안한다. 팔레트(컬러맵) 영상에서의 워터마킹 기술에 대한 연구는 많이 있지만 Reversibility에 대한 관심은 상대적으로 낮았다. 제안하는 기법은 가상적으로 확장한 코드북에 의한 압축 영역에서 동작한다. 확장된 코드북은 높은 Payload 용량을 가진다. Reversibility를 구현하면서 왜곡(Distortion)과 삽입용량(Embedding Capacity)사이의 절충점을 실험을 통해 보인다.

Keywords: Reversible Watermarking, Palette Image, Codeword

I. 서론

멀티미디어 데이터를 이용하는 응용들의 증가로 IPMP (Intellectual Property Management & Protection)에 대한 요구가 점점 커지고 있다. 디지털 워터마킹은 콘텐츠에 사용자의 정보(secret information)를 원본에 삽입하는 방법이다. 또한 워터마크를 삽입할 때 최소한의 왜곡을 허용해야 한다. 워터마킹 방법을 적용함에 있어서 성취해야 할 두 가지 목표는 인지 가능한 왜곡을 최소화하면서 전송할 정보를 담을 수 있는 은닉 용량을 최대화하는 것이다.

최근 의료 또는 군사 영상에서 무손실 워터마킹이 큰 주목을 받고 있다. 이 방법은 일반적인 워터마킹과 기본구조는 같으나 사용자 정보를 판독한 이후에 원래의 콘텐츠도 그대로 복원해 내는 방법이다. 대부분의 무손실 워터마킹 방법 [10, 11]은 압축 이전의 포맷에 대해 연구가 집중되었다. 하지만 영상에 있어서 저장공간, 대역폭의 한계 및 방대한 응용분야 때문에 많은 영상들은 압축(TIFF, JPEG 등으로) 되어 전송되거나 저장된다. 원형 그대로의 영상에 대한 기법의 적용은 간단하고 효과적이지만 손실 압축과 같은 환경에서는 그 효과가 없어진다.

Palette(color map)기반의 영상에서 손실압축이 많이 사용되고 있다. 높은 압축률과 효율적인 코딩 과정 등의 장점들을 가지고 GIF나 PNG와 같은 포맷으로 인터넷에서 사용되고 있다. 이러한 포맷들은 Reversible Watermarking을 적용하는데 있어 좋은 매개물(cover)가 된다. 제안하는 방법에서 24 비트 영상 대신 압축된 포맷 [15, 13]을 사용하는 것은 현재의 압축된 파일의 전송이 주를 이루는 인터넷 환경과 잘 매치된다. EZ-Stego [16]와 같은 팔레트 기반 워터마킹 방법은 색인 영상(indexed image)의 LSB에 워터마크를 삽입한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 워터마킹과 팔레트 기반 영상에 대해 설명할 것이고, 3장에서 무손실 워터마킹에 대해, 4장에서 제안된 기법에 대해 설명할 것이다. 5장에서 실험 결과 및 다른 기법과 비교하고, 6장에서 논문에 대한 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

II. 팔레트기반의 영상과 워터마킹

영상에 있어서 벡터 양자화(vector quantization)는 영상의 전체 컬러 공간을 제한된 양자화 셀로 나누고 각각의 셀을 대표하는 코드워드를 선택하는 방법으로 팔레트 기반 영상을 만든다. 주로 K-Means, LBG 그리고 minimization of variance [9, 12]등의 기법을 사용하여 영상의 벡터 양자화를 구현한다. 그림 1은 그 예를 보인다. 각 셀에 포함되는 컬러들은 셀의 중심으로 표현된다. 컬러 양자화는 보통 24 비트(RGB 각각 8 비트)컬러를 제한된 수의 코드워드로 줄이는 것을 말한다.

팔레트 기반 영상에서 영상의 인덱스나 팔레트 원소를 이용하는 다양한 워터마킹 기법들이 개발되었다. 인덱스를 이용한 워터마킹은 LSB [5]를 이용하여 높은 은닉 용량을 제공하지만 팔레트의 색상을 참조할 때 오류를 발생시킨다. 팔레트에서 근접한 색상들을 재배열함으로써 이웃 색상을 참조할 때 생기는 오류를 보상하는 것이 가능하지만 [17, 16, 19] 여전히 다른 색상을 참조하는 오류는 발생된다. 반면, 더욱 보안성이 강한 기법을 적용하고자 할 때 은닉 용량은 작게 된다.

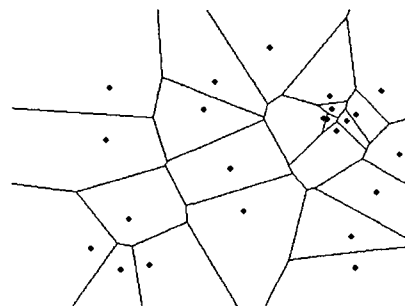


그림 1. 벡터 양자화

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2006. 8. 14.

최용수, 김형중: 강원대학교 제어계측공학과

(ciechoi@kangwon.ac.kr, khj@kangwon.ac.kr)

양재수: 광운대학교

III. 압축 영상에서의 무손실 워터마킹

근래에 압축된 영역에 워터마킹을 적용하는 기법들이 많이 개발되었다. Yang et al[21] 등이 그레이 스케일영상의 압축 영역에서 무손실이 가능한 좋은 실험 결과를 보여주었다. 하지만 컬러 영상에 적용하기에는 부족함이 있었다. 그래서 컬러 영상의 압축영역에 대한 더 많은 연구가 필요하게 된 것이다. 본 논문에서는 양자화된 영상에 화질 개선기를 적용하여 압축된 영상에서의 무손실 워터마킹 방법을 제안하였다. I_q 는 원 영상의 양자화된 버전이며, E 는 무손실 화질 개선기이다. C 는 화질 개선된 영상의 코드스트림이며 D 는 화질 개선기 E 에 대응하는 디코더이다. 일반적으로 I_q 에서 직접 워터마크를 삽입하지만 압축 영역에서의 가역특성에 만족하지 못하므로 본 논문은 코드스트림 C 를 저장하고 전송하는 매개체로 사용한다.

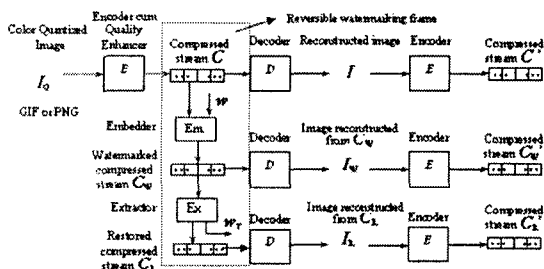


그림 2. 압축영역에서의 워터마킹 구조

압축영역에서의 무손실 워터마킹은 다음과 같은 특성들을 가진다.

- 1) 무손실성: 워터마크 W 와 양자화된 영상 I_q 가 손실없이 복원 가능해야 한다.
- 2) 비가시성: 삽입되는 워터마크 W 는 타인에 의해 인지되지 않아야 하며, Steganalysis와 같은 기술에서 감지되지 않아야 한다. 즉, 비가시성(invisibility)을 보장해야 한다.
- 3) 충실성: 복원된 영상 I_w 는 양자화 이미지 I_q 또는 원 포맷의 영상과 비교할 때 시각적인 왜곡을 만들지 말아야 한다.
- 4) 크기 보존: 복원된 영상 I_w 는 I_q 와 크기가 같아야 한다.

위의 특성들 외에도 압축된 영역에서의 무손실 워터마킹 방법이라면 인코더와 워터마크 삽입기 등이 독립적으로 동작 가능해야 하며, 손실 압축 포맷에 대해서도 구현이 가능해야 한다.

IV. 제안 기법

압축된 이미지의 사용에 기초한 현재의 기법은 GIF 또는 PNG 와 같은 포맷에서 쉽게 사용 가능하다. 이러한 이미지들은 VQ 와 같은 코드 생성기를 통해 컬러를 양자화시킴으로써 얻어진다. LBG, K-means, minimization of variance 와 같은 작업을 통해 최적화된 코드북을 얻을 수 있다. 화질을 개선하는 경우, 원 포맷의 영상도

고려할 것이다. 가상적으로 코드북을 확장함으로써, 양자화된 영상의 시각적인 질을 개선할 수 있다. 실험을 통해 얻어진 근거에 기초한 이 기법은 256 색을 가지고 있는 양자화된 영상의 대부분이 최대 발생 빈도를 가지는 32 개의 색으로 대부분 표현된다. 그림 3, 4 에서 샘플 영상에 대한 히스토그램 분포를 보여준다.

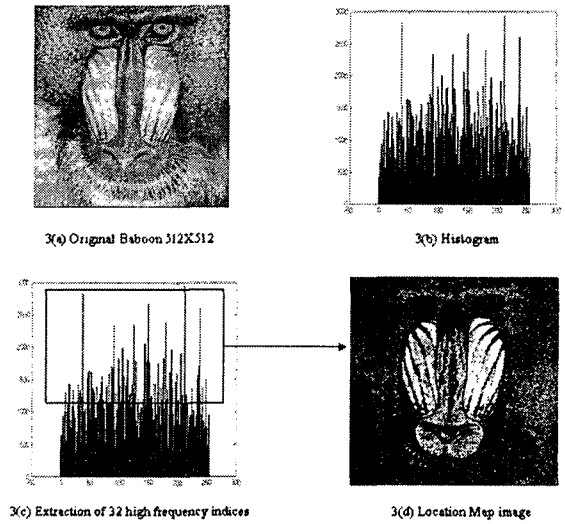


그림 3. Baboon 의 히스토그램 분석

32 개의 색과 다른 양자화 셀의 값들은 인접한 셀들에서의 1/2 거리보다 작거나 같다. 양자화된 영상에서의 이러한 특성을 알아냄으로써 동일한 코드북을 사용하면서도 GIF 또는 PNG 영상의 질을 향상시키는 기술을 제안하는 것이다. 그리고 이 기술은 양자화된 영상에 워터마크를 삽입하는데도 사용하는 것이 가능하다. 그림 3 과 4 를 보면 (표 1 과 2 참조) 소수의 색이 전체 픽셀 값이 30% 이상 차지하는 것을 볼 수 있다.

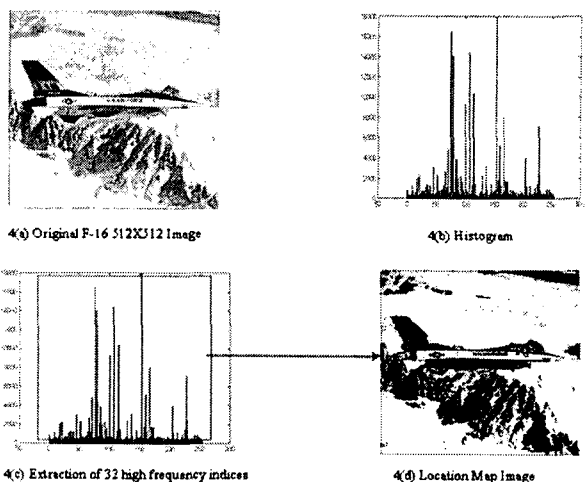


그림 4. F-16 의 히스토그램 분석

제안한 화질 개선기(enhancer)는 컬러 양자화와 함께 사용될 수 있고 매개 영상은 GIF 또는 PNG 와 같은 포맷으로 남아있게 만든다.

표 1. 상위 32 컬러에 대한 할당률

Color Images (512x512)	Number of Occurrences	Percentage
Baboon	65680	25.0549
F-16	180283	68.7725
Lena	71202	27.1614
Peppers	73144	27.9022
Tiffany	113399	43.2583

표 2. 양자화된 색상에 근접한 컬러의 포함률

Color Images (512X512)	Quantized color & actual color diff ≤ min/2, where min is minimum distance between two quantization cells	
	Max Occ. Q Color	Min Occ. Q Color
Baboon	24.89, 11.83	13.36, 23.62
F-16	53.49, 5.10	69.23, 41.06
Lena	16.22, 8.49	23.43, 15.17
Peppers	07.47, 7.00	13.04, 34.53
Tiffany	61.61, 7.07	0, 18.41

위치지도(location map)는 2진 영상이며 이 영상에서 하얀 색의 픽셀은 원본 영상에서 발생 빈도가 높은 32 색상이라는 것을 말한다. 그리고 이 맵은 양자화된 원본 영상에서 32 컬러의 위치를 지정할 때 사용한다. 표 1 을 통해 영상의 컬러 히스토그램에서 양자화된 영상의 많은 부분들이 전체 색상의 1/8 (즉, 32/256)에 포함되는 것을 알 수 있다. 평균적으로 38.43%의 부분들이 32 컬러로 표현된다는 것을 표 1 에서 볼 수 있다. 이러한 결과는 양자화된 영상의 색상의 개수를 증가시키거나 할 때 상당히 유용하다. 예를 들어, 256 색상의 480 로의 확장, 또는 시각적인 질을 개선하는 경우를 말한다.

이 결과에서, 최대 빈도를 가진 32 개의 색상은 1.73 보다 작거나 같은 차이(Euclidean distance)를 가진 컬러들로 표현될 때 좋은 결과를 보인다. 그리고 이러한 특성을 만족하기 위해, 원본 팔레트에서 인덱스 i_0 에서의 RGB 색상들을 수평적으로 확장시켜 나간다. 즉, (R, G, B+1), (R, G+1, B), (R, G+1, B+1), (R+1, G, B), (R+1, G, B), (R+1, G, B+1), (R+1, G+1, B) 그리고 (R+1, G+1, B+1)와 같은 8 개의 새로운 색상들을 구성하게 되고 새로 구성된 맵에 대한 참조는 인덱스 $i_0 + k \cdot 32$ ($k=0,1,\dots,7$)로 참조된다. 확장된 8 개의 맵은 32 개의 컬러를 기본으로 만들어지는데 이유는 앞에서 설명한 것처럼 32 개의 컬러가 이미지에서 차지하는 부분이 크다는 것이고 실제 색상과 차이가 나지 않으며 224 개의 넓은 색 공간을 제공해 준다. 또한 8 비트 인덱스로 영상을 표현할 수 있다.

일반적인 화질 개선기로서, 이 방법은 인덱스 영상에서의 빈도를 내림차순으로 재정렬한다. 그리고 32 개의 코드워드를 각각 7 개의 새로운 가상의 컬러들로 확장한다.

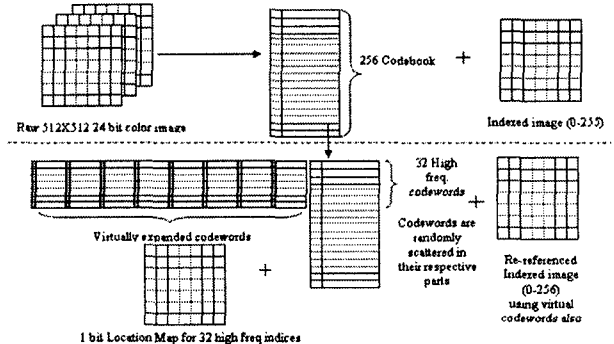


그림 5. 가상 확장된 팔레트

실제 색상에 대한 컬러의 차는 코드북 수에 대한 2진수로 표현된다. 예를 들어, 재정렬된 컬러맵의 2 번째 인덱스는 컬러 (134, 234, 122)이다. 이 컬러는 7 개의 확장된 컬러를 가지게 되고 각각은 (134 234 123), (134 235 122), (134 235 123), (135 234 122), (135 234 123), 그리고 (135 235 123) 가 된다. 그리고 7 개 각각에 대응하는 인덱스는 34, 66, 98, 130, 162, 194 그리고 226 이 된다. 인덱스 값 98 은 $2+3 \cdot 32$ 로 3 번째 가상 코드북을 참조함을 알 수 있다. 고 빈도의 인덱스들에 대응하는 가상 인덱스들을 참조여부를 저장하기 위해 2진 위치지도를 사용한다. 위치지도는 JBIG2 표준으로 압축된다. 인덱스 영상의 높은 압축을 위해 우리는 JPEG-LS 대신 산술코딩을 사용한다. 그 이유는 가상 인덱스의 발생에 따른 contextual information 의 손실 때문이다.

- 화질 개선기를 위한 알고리즘.

- 1) 256 개의 양자화된 색상을 계산한다.
- 2) 원본 영상에 상응하는 코드북과 인덱스 영상을 생성한다.
- 3) 팔레트 색상의 빈도에 따라 코드북을 내림 차순으로 재배열한다.
- 4) 영상에서 32 개의 고 빈도 색상들에 대한 위치지도를 만든다.
- 5) 새로운 팔레트에 따라 인덱스 영상을 재구성한다.
- 6) 위치지도가 참조하는 원래 영상 픽셀은 가상 확장 코드북에서 가장 잘 맞는 (최소의 유클리디안 거리를 가지는) 코드워드를 찾는다.
- 7) 8 비트 인덱스 영상은 256 대신 480 개의 컬러 공간을 참조한다.

전송과 저장을 위해, 인덱스 영상, 위치지도, 그리고 팔레트를 함께 보유해야 한다. 여기서 cover object로서 이미 압축된 영상을 사용하기 때문에, 이런 영상들에 대한 화질 개선기는 시각적인 왜곡을 만들어내지 않으므로 워터마킹 응용에 사용함에 있어서 좋은 선택이 된다. 그리고 어떤 경우는 cover 영상보다 원본 영상에 대해 더 좋은 PSNR 을 가진다. 결국 Steganographer 에게 시각적인 의구심을 제공하지 않을

것이다. 삽입과 검출 그리고 제안된 워터마킹 기법의 무손실성에 대한 내용은 다음에서 설명한다.

4.1 워터마킹

- 1) 원래의 코드북에서 32 개의 고 빈도 코드워드들에 대해 각각 7 개의 새로운 c 코드워드들로 확장한다.
- 2) 확장된 코드북은 코드북 번호에 따른 인덱스와 코드워드를 가진다.
 - CB_k 는 $R+b_2, G+b_1, B+b_0$ 코드워드를 가진다. 여기서 $k=0, 1, \dots, 7$ 이고 $(b_2b_1b_0)_2 = (k)_{10}$
 - 상위 32 코드워드에서 C_i^0 인덱스는 코드북 번호가 k 일때 $C_i^0 + k \cdot 32$ 의 인덱스로 변환된다.

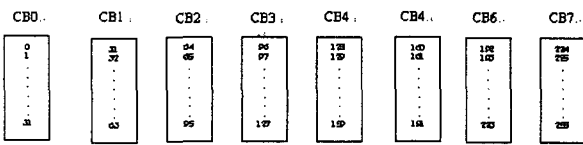


그림 6. 32 코드워드에 대한 가상 확장 코드북

- 3) 위와 같이 확장된 코드북은 3 비트의 워터마크를 삽입하는데 사용될 수 있다.
 - 삽입
 $C_i^0 \rightarrow C_i^0 + k \cdot 32, k=0, 1, \dots, 7.$
 $(b_2b_1b_0)_2 = (k)_{10}$ 그리고 $R, G, B \rightarrow R+b_2, G+b_1, B+b_0$
 예를 들어 삽입할 정보가 (101)₂ 이고 27 번 인덱스의 값이 (129 200 128)이라면
 $27 \rightarrow 27 + 5 \cdot 32 = 187$ 가 된다. 또 코드워드는 (130 200 129)가 된다.
 - 검출
 $C_i^0 \rightarrow \lfloor C_i^w / 32 \rfloor$ 이며 $k = \text{mod}(C_i^w, 32)$ 이다.
 이렇게 복원된 인덱스 C_i^0 를 얻을 수 있고 워터마크 정보 $(b_2b_1b_0)_2$ 를 찾아낸다.

4.2 Reversibility

Cover object 의 원래 코드워드는 손실이 전혀 없이 복원되어야 한다. 워터마크된 양자화 이미지를 복사하거나 재저장하는 경우에도, 제안한 기법은 매개 영상에 손실 없이 워터마크를 복원할 수 있다. 이 방법은 1.732 보다 작거나 같은 유클리디안 거리를 가지는 컬러들을 그룹으로 만들고 또한 그에 따라서 위치지도를 구성한다. 이 그룹에서 최소 R, G, B 를 가진 색상에서 비슷한 색상과의 차를 구해도 결과들은 워터마크 비트들이고, 비슷한 색상들은 최소 R, G, B 를 가진 값으로 대체된다. 제안한 알고리즘이 Steganographer 에게 알려져 있더라도, 키 값에 의해 생성된 의사 난수가 표시하는 위치에서 새로운 컬러를 만들 수 있다. 영상을 표시함에 있어서 비슷한 컬러는 양자화된 영상의 화질 개선에 사용되기 때문에 왜곡에 대한 단서가 되지 않는다.

V. 실험결과 및 비교

실험은 512X512 영상들(Lena, Baboon, F-16, Peppers

그리고 Tiffany)에 대해서 수행했다. 컬러 양자화는 minimization of variance 에 기초한 rgb2ind 함수를 사용하였다. 표 3 에서 정상적으로 양자화된 영상, 화질 개선 후의 영상, 워터마크 적용된 후의 영상의 PSNR 값을 보인다.

표 3. 원 포맷 영상에 대한 PSNR

Images	Color Quantized	Quality Enhanced	Watermark Embedded
F-16	37.331	37.6366	37.2146
Lena	34.6578	34.786	34.6399
Baboon	30.5916	30.6706	30.5836
Peppers	32.3253	32.4262	32.3135
Tiffany	37.5235	37.7679	37.4907

화질 개선에서 고 빈도 인덱스들의 원 위치를 지정하기 위해 사용한 위치지도는 JBIG2 압축 기술에서 압축률이 높다. 우리는 Vector Quantization 압축영상에서 0.54 정도의 비트율을 생성했다. 워터마크 삽입, 정상 양자화된 영상의 PSNR 들도 그림 7 에서 보는 것과 같이 시각적인 단서(워터마킹의 여부)와 왜곡을 만들지 않는다. 우리는 새로운 색상을 만들기 위해 2 진 표현의 코드북 번호를 사용했다. 그러나 이러한 사용은 주어진 양자화 레벨(색상의 수)의 최소 거리를 고려한 새로운 색상에 의해 대체된다. 새로운 색상의 이웃하는 셀들로. 또는 주어진 양자화 색상에 대응하는 셀을 7 양자화 레벨로 재 양자화함으로써 대체될 수 있다 (그러나 가상 코드를 만들면 코드북 및 압축된 코드스트림에 추가 비트를 발생시킨다.

표 4. 위치지도의 압축률

JBIG2	F-16	Lena	Baboon	Peppers	Tiffany	Average
Bit Rate	0.32	0.59	0.63	0.53	0.63	0.54

여기서 고 빈도 인덱스들에 대응하는 코드북을 확장하여 사용하기 때문에, 원본 인덱스 영상에서 빈도 수의 3 배의 은닉용량을 가진다. 제안된 기법에 의하면, 워터마크 삽입은 약 1.5 bpp 정도의 높은 은닉용량을 가질 수 있다. 은닉용량은 워터마크를 제외한 다른 값은 담지 않으므로, 전체 은닉용량을 모두 사용하는 것이 가능하다. 제안한 무손실(가역가능한) 기법은 EZ-Stego 와 같은 불가역 기법보다 나은 기술을 보인다.

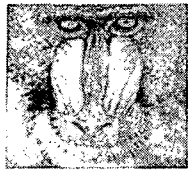
표 5. 은닉용량 용량과 비트율

Color Images (512X512)	Total Payload	Payload (bpp)
Baboon	197040	0.75
F-16	540849	2.06
Lena	213606	0.81
Peppers	219432	0.84
Tiffany	340197	1.30

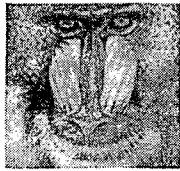
Fridrich 와 Wang 등의 기법에서 양자화 영상과 워터마크 삽입된 영상의 평균 PSNR 은 56 db 정도였다. 그리고 은닉 용량은 1.15 bpp 정도였다.

표 6. Cover Object 와 워터마크 영상의 PSNR

Images	Baboon	F-16	Lena	Peppers	Tiffany	Average
PSNR	57.47	53.21	57.41	56.78	55.09	55.99



Original raw format image



Normal Quantized image (30.59 db)

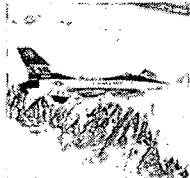


Quality enhanced image (30.67 db)

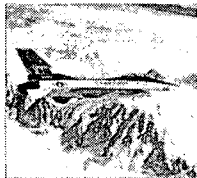


Watermarked image (30.58 db)

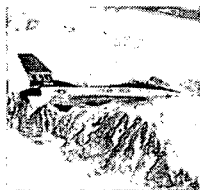
그림 7. (a)



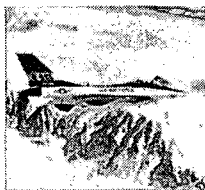
Original raw format image



Normal Quantized image (37.33 db)



Quality enhanced image (37.64 db)



Watermarked image (37.22 db)

그림 7. (b)

VI. 결론 및 향후 과제

제안된 기법에서는 왜곡과 은닉 용량의 절충점을 적절히 찾아서 사용하였다. 가역성을 가진 영상의 압축된 영역에서 영상크기의 최대 210%까지 은닉용량을 제공해준다. 이 방법에서 32 개의 색상에서 224 개의 추가 색상을 제공함으로써 원본 압축 영상의 질도 개선할 수 있다. 32 개의 색상은 최대 발생 빈도를 가지는 색상이므로 표현하는 원래의 영상을 표현함에 있어 크게 차이가 나지 않는다. 32 개의 색상에 대해 가로방향으로 최대 거리 $\sqrt{3}$ 을 가지는 팔레트들을 가상적으로 생성하였다. 보안을 위해 이 방법은 키에 의해 임의의 위치에 상응하는 색상들을 변경하였다. 워터마크된 영상은 원본 GIF 영상과 비교하여 왜곡이 거의 없으므로 Steganographer 에 의해 인지되기 어렵다.

추가적으로 압축률을 높이는 작업을 할 것이고 좀 더 높은 압축률을 위해 팔레트 재배치를 적용한 인덱스

스 영상에 대한 JPEG-LS 등을 포함한다. 두 번째로 왜곡에 대한 고려없이 위치지도인 인덱스 영상에 숨기는 방법의 개발이다. 실험에서 두 가지 모두에 대해 실험을 하였으나, 압축 성능과 위치지도의 은닉에 대해 조절이 필요하다. 우리는 최적의 팔레트 순서화에 대해 연구를 하였고, 위치지도에 의한 가역적 은닉은 압축률을 낮추는 것을 알 수 있었다.

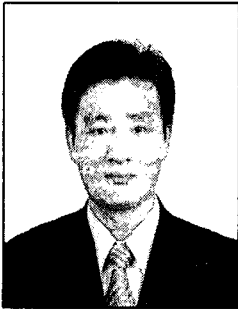
참고문헌

- [1] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Lossless generalized-LSB data embedding," *IEEE Trans. Image Processing*, submitted for publication.
- [2] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Reversible data hiding," in *Proc. Int. Conf. Image Processing*, vol. 2, pp. 157-160, 2002.
- [3] C. C. Chang, W. L. Tai, and M. H. Lin, "A reversible data hiding scheme with modified side match vector quantization," *The IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, vol.1, pp. 947-952, Mar. 2005.
- [4] R. F. Chang and W. J. Kuo, "Images coding using two-pass side-match finite-state vector quantization," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 41-51, Jan 1999.
- [5] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital image watermarking and information embedding," *IEEE Transaction on Information Theory*, vol. 47, no. 4, pp. 1423-1443, May 2001
- [6] J. Fridrich, M. Goljan, Q. Chen, and V. Pathak, "Lossless data embedding with file size preservation," *Proc. SPIE*, vol. 5306, pp. 354-365, 2004.
- [7] J. Fridrich, M. Goljan, and R. Du, "Lossless data embedding-new paradigm in digital watermarking," *EURASIP J. Appl. Signal Processing*, vol. 2002, no. 2 pp. 185-196, Feb 2002.
- [8] J. Fridrich and R. Du, "Secure steganographic methods for palette-based images," in *Proc. 3rd Internet. Work. on Information Hiding*, vol. 1768, pp. 47-60, 1999.
- [9] R. M. Gray, "Vector quantization," *IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine*, vol. 1, pp. 4-29, 1984.
- [10] C. W. Honsinger, P. W. Jones, M. Rabbani, and J. C. Stoffel, "Lossless recovery of an original image containing embedded data," *U.S. Patent #6,278,791*, Aug 2001.
- [11] T. Kim, "Side match and overlap match vector quantizers for images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 170-185, April 1992.
- [12] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An Algorithm for Vector Quantizer Design," *IEEE Transactions on Communications*, vol.28, pp.84-95, Jan. 1980.
- [13] Z. M. Lu, J. S. Pan, and S. H. Sun, "Digital image watermarking method based on vector quantization with labeled codewords," *IEICE Transaction on*

Information and Systems, vol. E86-D , no. 12, pp. 2786-2789, 2003..

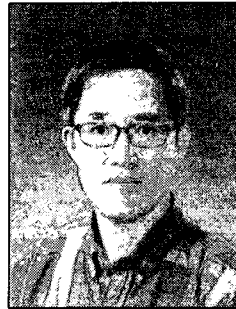
[14] Z. M. Lu and S. H. Sun, "Image coding using fast correlation based VQ," *Chinese Journal of Image and Graphics*, vol. 5A, no. 6, pp. 489-492, 2000.
 [15] Z. M. Lu, J. S. Pan, and S. H. Sun, "VQ-based digital image watermarking method," *IEE Electronics Letters*. 36(14): 1201-1202, 2000.
 [16] R. Machado. EZ-Stego. <http://www.stego.com>
 [17] J. Tian, "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, pp. 890-896, Aug. 2003.

[18] J. Tian, "Wavelet based reversible watermarking for authentication," *Proc. Of SPIE Sec. and Watermarking of Multimedia Cont. IV*, vol. 4675, no 74, 2002.
 [19] X. Wang, T. Yao, and C.-T. Li, "A palette-based image steganographic method using colour quantization," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 2, no. 2 , pp. 1090-1093, Sept. 2005.
 [20] X. Wu, "Lossless compression of continuous tone images via context selection, quantization and modeling," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 5, pp. 656-664, May 1997.
 [21] B. Yang, Z. M. Lu, and S. H. Sun, "Reversible Watermarking in the VQ-Compressed Domain," in *Proc. Fifth IASTED Int. Conf. Visualization, Imaging and Image Processing*, pp. 298-303. 2005



최 용 수

1998년 삼척대학교 제어계측공학과 졸업. 2000년 강원대학교 제어계측공학과(공학석사). 2006년 강원대학교 제어계측공학과(공학박사 수료). 관심분야는 영상처리, Steganography, IPMP 등임.



김 형 중

1978년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사). 1989년 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사). 현재 강원대학교 전기전자공학부 교수. 관심분야는 IPMP, MPEG-21, 영상압축 Steganalysis 등임.



양 재 수

1981년 항공대학교 통신공학과 졸업. 1985년 건국대학교 전기공학과(공학석사). New Jersey 공대 전기컴퓨터공학과(공학박사). 현재 광운대학교 산학협력 전담교수. 관심분야는 BcN, 차세대이동통신, RFID 및 USN, 홈 네트워킹 등임.