Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 24 No. 2, pp. 41-48, February 2019
www.ksci.re.kr
https://doi.org/10.9708/jksci.2019.24.02.041

An Iterative CRT Based Image Watermarking on DCT Domain

Ji-Su Choi*, Gye-Young Kim**

Abstract

Digital image watermarking techniques have been studied in various fields in order to protect the copyright of multimedia contents mostly composed by images. JPEG compression is a representative copyright attack for image watermarking. The CRT-based watermarking methods in DCT domain have been studied, because these are robust for JPEG compression attack. In this paper, we propose a new method with improved performance compared with the existing CRT based methods in DCT domain. The proposed method selects the DCT block according to the denseness at the watermark insertion phase, and iteratively adjust the CRT Conditional coefficients at the watermark extraction. This paper shows that it is more robust for the JPEG compression attacks through experimental results.

▸Keyword: Digital image watermarking, Chinese Reminder Theorem(CRT), Discrete Cosine Transform (DCT), JPEG compression, Image Authentication, Copyright Protection

I. Introduction

인터넷 상의 멀티미디어 콘텐츠들은 시간이 흐를수록 그 양과 상업적 가치가 기하급수적으로 증가하고 있다. 하지만, 저작권 보호는 인터넷의 특성 상 데이터 조작이 간편하다는 점 때문에 어려움을 겪고 있다. 또한, 개방적이고 자유롭다는 특성과 영상 및 문서를 조작할 수 있는 다양한 소프트웨어들에 대한 간편한 접근 등으로 인증 및 소유권 확인에 관련한 문제가 발생하고 있다[1].

워터마킹 기술을 개발할 때, 고려해야할 필수적인 사항들로 첫 번째는 비가시성 즉, 삽입된 워터마크는 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 하고, 두 번째는 견고성 즉, 허가 없이는 워터마크를 제거, 변경 또는 손상시킬 수 없어야 한다. 하지만 비가시성과 견고성 두 가지의 기준은 상반되는 요구사항으로 두 가지의 요구사항을 충족시키기 위한 절충이 필요하다.

미디어 콘텐츠의 특성 상 영상 데이터들이 대부분을 차지하고 있기 때문에 디지털 워터마킹 기술[2-3]은 영상 데이터에 대해서 연구가 활발히 이루어지고 있다. 연구의 방향은 크게 공간영역에서의 워터마킹과 주파수 영역에서의 워터마킹으로 구분된다. 공간영역에서의 워터마킹은 워터마크 값을 직접적으로 화소에 포함시켜 화소값을 변경하는 반면, 주파수영역에서의 워터마킹은 주파수 성분의 수정하는 과정으로 이뤄진다.

주파수 영역에서의 워터마킹 방법들은 대표적으로 JPEG 영상 압축 공격에 관련되어 DCT(Discrete Cosine Transformation)영역[4-6]과 DWT(Discrete Wavelet Transform)영역[7]에서의 연구가 진행되어왔다. 또한, SVD(Singular Value Decomposition) 기반 방법[8-9]과 CRT(Chinese Remainder Theorem)기반 방법[10-14]를 활용하여 더 좋은 성과를 보이는 연구들이 발표되어 왔다. 최근에는 여러 방법들을 융합시킨 연구 등[15-16]과 의료 영상 및 생체 영상[17-18] 활용 연구도 이뤄지고 있다.

본 연구는 DCT 영역에서 CRT를 적용한 디지털 영상 워터마킹 기술을 제안한다. 제안하는 기술은 Patra 등의 개발 방법[10-14]보다 JPEG 영상 압축 공격에 대해 강건성이 개선되는 것을 실험을 통하여 보인다.

본 논문은 총 6개의 절로 구성되며, 먼저 2절과 3절에서 CRT 이론과 기존 Patra 등 방법[10-14]를 각각 요약하여 기술한다. 4절과 5절에서는 새로운 워터마크 삽입 및 추출 방법

• First Author: Ji-Su Choi, Corresponding Author: Gye-Young Kim
*Ji-Su Choi (belllow2@naver.com), Dept. of Convergence Software, Soongsil University
**Gye-Young Kim (gykim11@ssu.ac.kr), Dept. of Software, Soongsil University
• Received: 2019. 01. 08, Revised: 2019. 02. 18, Accepted: 2019. 02. 18.
• This work was supported by the National Research Foundation of Korean (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT: Ministry of Science and ICT) (No. NRF-2016K1A3A1A19945935).

을 제안하고 알고리즘 및 기존 방법과의 차이점에 대해 각각 설명한다. 6절은 실험 결과를 통해 제안한 방법과 기존 방법을 비교를 통하여 성능을 평가하고, 마지막으로 7절에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. Chinese Remainder Theorem(CRT)

CRT 이론은 유한 필드 계산 및 암호 해독에서 광범위하게 사용되어온 이론으로 모듈러 연산만이 사용되기 때문에 CRT의 구현은 계산적으로 효율적인 특징이 있다.[19] CRT 이론은 두 개의 서로소를 활용하며, 서로소 범위 내에서 임의의 정수를 나타내는 것을 목적으로 한다. 연구에서 활용된 CRT 이론은 {m, n} 두 개의 쌍으로 묶인 서로소에 의해 생성되는 정수 Z를 이용해 정리할 수 있다. Z는 N이라는 동적 범위 안에서 생성되며, N은 m과 n을 곱한 것이다. 먼저, 식 (1)로 r_1와 r_2를 산출한다.

$$r_1 = N/m = n, \quad r_2 = N/n = m \tag{1}$$

그리고, r_1와 r_2을 사용하여 식 (2)를 만족하는 s_1와 s_2를 구한다.

$$(r_1 s_1) \bmod m = 1, \quad (r_2 s_2) \bmod n = 1 \tag{2}$$

그 다음, m보다 작은 p라는 양의 정수와 n보다 작은 q라는 양의 정수 두 개를 $r_1 s_1$와 $r_2 s_2$을 통해 구하면, 정수 Z를 식 (3)가 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = (p.r_1 s_1 + q.r_2 s_2) \bmod N \tag{3}$$

역 CRT는 CRT를 통하여 얻어진 정수 Z를 사용하여 p○와 q 값을 사용하여 이루어진다. 최근 CRT 기반 방법들[12-14] 및 제안한 알고리즘에서는 역 CRT를 통해 다음의 변수들 즉, D, d, b를 산출하여 사용한다.

$$D = \max(m,n) - 1 \tag{4}$$
$$d = |p - q| \tag{5}$$
$$b = p + q \tag{6}$$

III. Existing CRT based watermarking

CRT 이론에 기반 하여 연구된 워터마크 삽입-추출 과정을 요약하고 장단을 분석한다.

1. CRT-Based Spatial Domain Watermarking

Patra 등 방법[10]은 공간 역역에서의 CRT 기반의 워터마크 삽입 방법을 제안하였다. 워터마크 삽입 방식은 원본영상에 삽입 할 워터마크 비트의 수를 기반으로 블록 분할시켜주는 것으로 시작된다. 예를 들어, 32x32 크기의 워터마크를 256x256 원본영상에 포함시키기 위해서 8x8 블록으로 분할시킨 후, 하나의 워터마크 비트를 각 블록에 삽입시키는 방식이다. 그 후, 랜덤 화소 X를 8x8 블록에서 선택하고 X의 6개 최하위 비트를 십진수 Z로 변환시키고, 마찬가지로 X의 최상위 비트 두 개 또한 십진수 Y로 변환시켜준다.

$$\begin{aligned} p &= Z \bmod m \\ q &= Z \bmod n \end{aligned} \tag{7}$$

p와 q 값을 얻기 위해 변환된 십진수 Z에 식 (7)을 활용한 역 CRT를 적용시켜준다. 여기서 p와 q 값을 구한 이유는 이 방법에서의 워터마크 삽입 조건이 p와 q 두 값 사이의 관계에 기초하여 이루어지기 때문이다. p와 q 값 간의 필요 관계가 충족될 때까지 역 CRT를 반복 적용시키게 되며 충족된 값이 나올 때까지 Z는 Z'로 수정되게 된다. 필요 관계가 성립된다면 Z'는 Y에 더해져서 새로운 워터마크가 삽입된 화소 X'를 얻게 된다. 워터마크가 삽입된 화소 X'를 각 블록마다 삽입하여 최종적으로 워터마킹된 영상을 생성시킨다.

이 방법의 가장 큰 단점은 워터마크 비트를 삽입하는 영역이 공간영역이라는 것이다. 공간영역을 활용할 시에는 일반적인 영상처리 기술들에 취약하다는 것과 특히, JPEG 압축과 같은 손실 압축에 강하지 않다는 단점이 있다.

2. CRT-Based DCT Domain Watermarking

공간영역에서의 취약점을 극복학기 위해 CRT 기반의 워터마킹 기술을 활용하면서 DCT 영역에서 워터마크를 삽입하고 추출하는 방법이다. DCT 변환은 선택되는 블록에 대해 수행하며 워터마크 비트의 삽입은 DCT 계수를 변경시킴으로써 수행한다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법과 동일하게 식 (7)을 활용하여 p와 q 값을 구하고 사용하고 두 값의 관계를 기반으로 Z 값을 변경시켜 나간다. 여기서 Z는 DCT 계수를 의미한다. 그림 1은 워터마크 비트를 삽입하는 조건을 나타낸다. 이 조건에서는 역 CRT의 식 (4)와 (5)를 활용하여 d 값과 D 값을 사용하고 있다.

이 방법의 장점은 일반적인 영상처리 공격들과 JPEG 압축에 강건한 것이다. 하지만, 추가적인 계산 작업이 들어간다는 단점도 있다. 방법 1과 같은 환경에서 실험한 결과를 비교하였을 때, 워터마크 추출 시 여러 영상 공격들에 더 강건한 결과를 보인다.

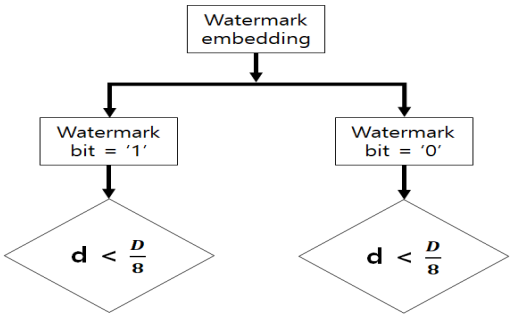


Fig. 1. Watermark Embedding Procedure Method-2

IV. Selection of DCT Feature Domain and Watermark Insertion Location

Patra 등 방법[10-14]는 공간 영역의 영상들이 JPEG 압축에 취약하다는 점 때문에 영상을 주파수 영역인 DCT 영역으로 변환시킨 후, DCT 영역에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이 경우, 영상을 8x8 블록으로 분할하여 DCT 변환을 수행하고, 선택되는 블록에 한 개씩 워터마크를 삽입한다. 여기서 어떤 블록에 삽입할 지에 대한 선택은 무작위로 이뤄지며, 선택된 블록 내에서는 DC 계수 혹은 저주파인 AC 계수 위치 즉, 그림 2의 1, 2, 3 위치에 삽입한다.

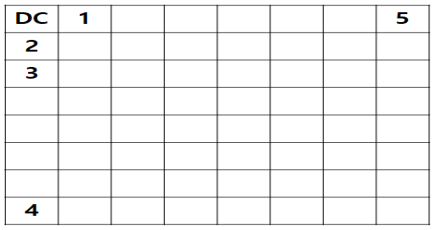


Fig. 2. 8x8 DCT Blocks

본 논문에서 제안하는 방법은 그림 3에서 보이는 것처럼 RGB 컬러영상을 DCT 변환하기 전, YUV 컬러공간으로 변환한 후, Y 영역에 대해서만 DCT 변환을 수행하여 워터마크를 삽입한다. 그 이유는, Y 영역은 영상의 밝기에 대한 정보를 포함하고 있는데 사람의 눈이 밝기 정보에 민감하다는 특성 때문에 Y 영역을 사용한다.

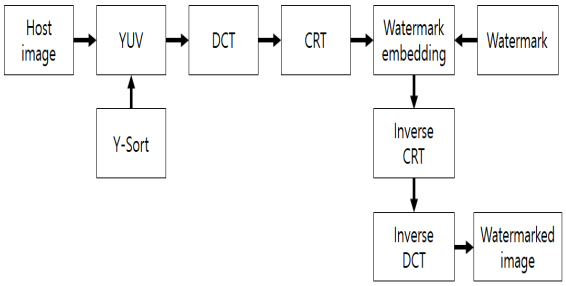


Fig. 3. Proposed Watermark Embedding Scheme

DCT 변환을 수행한 후에는 어떤 블록에 워터마크를 삽입할지 선택할 때, 기존 방법의 무작위 선택이 아닌 DC 계수들이 밀집되어 있는 정도에 선택한다. 제안하는 방법에서는 그림 4와 같이, DCT 블록을 8비트 정수형으로 변환하여 DC 계수들의 밀집도를 계산하여, 이 밀집도가 높은 블록부터 차례대로 워터마크를 삽입한다. 이 경우 원본영상 내에서 가장 복잡한 영역부터 워터마크가 삽입된다. 즉, 영상 내 에지 영역에 워터마크가 삽입될 확률과 밝기가 높은 영역에 삽입될 가능성이 높아지므로 사람 눈으로 인식하기 더욱 어렵도록 만드는 효과가 있다.

마지막으로, 제안한 방법은 선택된 블록 내에서 DC 계수와 그림 2의 1, 2, 3 위치의 저주파 AC 계수가 아닌 그림 2의 4, 5 위치에 워터마크를 삽입한다. 4, 5 위치에 삽입하는 이유는 저주파 영역에 삽입했을 경우에는 그 만큼 워터마크가 삽입된 영상이 사람 눈에 인식 될 확률이 높아지게 되기 때문에 워터마크가 삽입된 영상의 품질을 높이고자 선택했다. 하지만, 워터마크를 4, 5 위치에 삽입한 후 JPEG 압축을 수행하면, 원본영상의 고주파 영역이 손실되면서 워터마크가 손실될 확률이 높아지는 단점이 있다. 이 절에서는 단점을 보완하면서 JPEG 압축에 강건하도록 하는 반복적 워터마크 추출 수행 방법에 대해 서술한다.

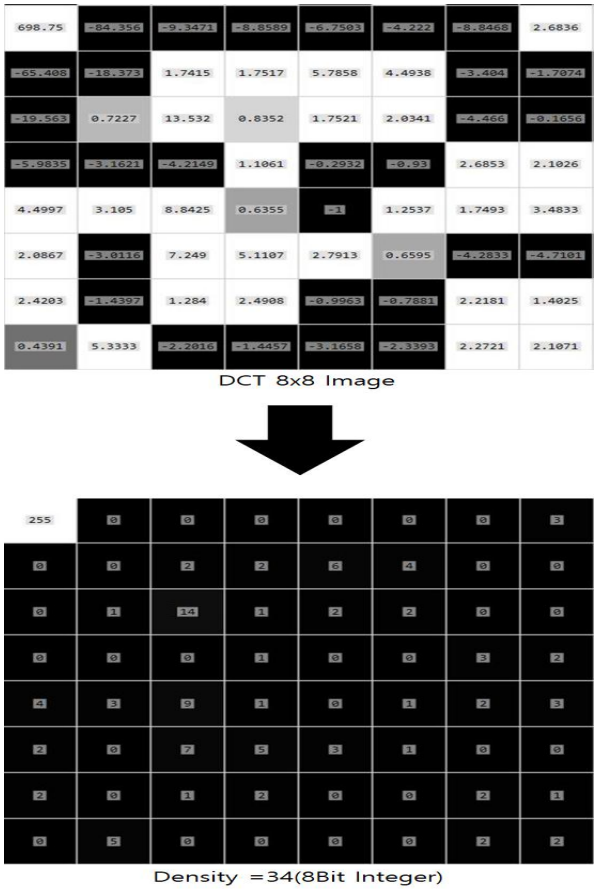


Fig. 4. 8x8 DCT Block Density

V. Repeated Watermark Extraction for DCT Feature Domain

워터마크의 삽입과 추출 알고리즘은 Patra 등이 참고문헌 [10]에서 사용했던 D와 d 대신, 식 (4)와 (6)을 통해 구한 D와 b를 활용한다. 즉, 그림 5와 그림 6에서 보이는 것처럼 삽입 조건 및 추출 시 워터마크 비트를 판별하는 용도로 활용한다. D와 b 외에도 활용하는 임의적 계수 C가 존재하는 데, C는 워터마크의 삽입 강도를 결정하는 역할을 한다. C 값을 조절하면서 영상 품질을 저하시키지 않으면서도 적당한 삽입 강도를 찾아낼 수 있다.

Patra 등은 참고문헌 [12]에서 워터마크 삽입할 때, C의 값을 35로 고정하였다. 제안한 방법에서도 C의 값을 고정시킨 상태에서 워터마크 삽입 과정을 수행한다. 하지만 그림 6과 같이 삽입 강도를 결정하는 C의 값은 고정시키면서도, 추출할 때 사용되는 C의 값을 고정시키지 않고 증가 또는 감소시키면서 삽입 강도에 의해 변화된 영상 품질에 따라서 워터마크를 추출할 수 있도록 조절한다. 이 과정을 JPEG 압축에 의해 손실된 워터마크 계수를 반복적으로 변화시켜가면서 워터마크 비트를 유추하고, 삽입된 워터마크 영상이 손상이 없는 형태로 추출될 때까지 반복한다.

유추된 워터마크 비트로 생성된 워터마크 영상이 그림 6의 조건 TAF > Range 를 만족하지 않으면 추출된 워터마크 영상이 유효하다는 의미이므로 반복을 멈추고 추출된 워터마크 영상이 최종 워터마크 영상이 된다.

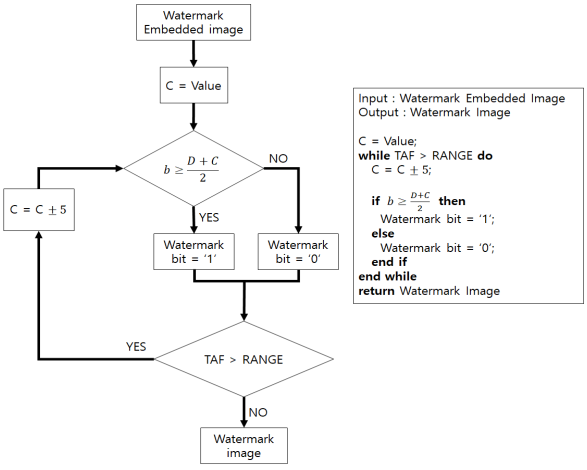


Fig. 5. Extract Procedure in the Proposed Scheme

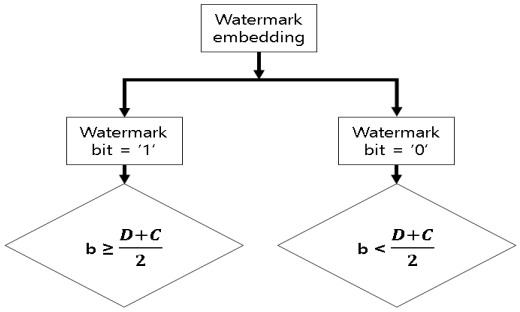


Fig. 6. Watermark Embedding Procedure

VI. Experimental Results

본 논문에서 새롭게 제안한 방법과 Patra 등이 개발한 방법 [10-14]와의 성능 차이를 확인하기 위해 그림 7의 Lena, Baboon, Airplane을 실험 영상으로 사용하였다. 기존 방법들은 8비트 명암영상(gray image)을 사용하였으나, 제안한 방법은 24비트 영상의 YUV 컬러 모델에서 Y 영역만을 사용하기 때문에 기존 방법이 8비트 명암영상을 사용한 것과 같은 환경에서 실험 영상을 사용한다. 워터마크는 64x64 크기의 이진워터마크를 사용한다.

표 1은 계산에 대한 성능이다. SVD 활용 방법[8]은 많은 계산 시간이 소요되고, DCT 영역이 활용된 방법[11-12]들과 제안하는 방법은 공간영역이 활용된 방법에 비해서 워터마크가 삽입에 더 많은 시간이 소요된다는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 원본영상을 DCT 변환하기 때문에 소요되는 시간임을 알 수 있다. 그리고 다른 DCT 영역 활용 방법과 제안하는 방법의 워터마크 삽입 시간을 비교하면 더 나은 결과를 나타내지는 않지만 크게 차이나지 않는 것으로 나타난다. 그러면서도 추출 시간은 다른 방법들에 비해 더 적게 소요되는 것을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of Computation Time Complexity

Test Methods	Average Time in Millisecond	
	Embedding	Extracting
Method-SVD[8]	359	290
Method-Spatial[10]	200	110
Method-CRT&DCT[11]	359	290
Method-CRT&DCT[12]	320	285
Propsed Method	352	183

제안하는 방법과 기존 방법들의 워터마크 강건성 및 영상 품질에 대한 성능 비교를 위해 두 가지의 성능 척도를 사용하는데, 첫 번째는 PSNR(Peek Signal To Noise Rate)로 워터마크가 삽입되거나 공격받은 영상 $\overline{A}$의 화질에 대한 정량적 측정을 식 (7)을 통해 원본 영상 A와 비교하여 사용한다.

$$PSNR(dB) = 10\log_{10}\frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}(A(i,j)-\overline{A}(i,j))^2} \quad (7)$$

두 번째는 TAF(Tamper Assessment Function)로 추출된 워터마크의 변조 정도를 식 (8)을 통해 %단위로 측정하여 사용한다. ⊕는 XOR연산을 뜻한다.

$$TAF(\%) = \frac{1}{MN}\left[\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} w(i,j) \oplus \overline{w}(i,j)\right] \times 100 \quad (8)$$

표 2는 JPEG 압축 공격에 대한 기존 방법들과 제안한 방법의 강건함을 비교하기 위하여 워터마크를 삽입하고 추출한 실험 결과를 보여준다. 공격을 가하지 않은 실험 영상과 비교하기

Table 2. Comparison of PSNR and TAF when JPEG Compression Attack and No Attack

Image	Comparision (Without Attak)	Bae's Method[10]		Patra's Method[11]		Patera's Method[12]		patra's Method[13]		Prposed Method	
		PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]	PSNR[dB]	TAF[%]
Lena	Without Attak	42.67	0	**60.97**	0.05	41.05	0.51	37.38	0.42	36	0
	JPEG Compression	25.46	6.47	**39.09**	39.61	38.56	5.15	36.11	2.80	32.36	0
Baboon	Without Attak	41.76	0	**61.52**	0	40.65	0.29	37.82	0.29	35.40	0
	JPEG Compression	25.46	5.57	29.08	42.90	30.02	6.05	29.69	3.64	25.84	0.39
Airplane	Without Attak	42.90	0	**61.75**	0	40.41	0.37	37.24	0.24	36.05	0
	JPEG Compression	25.46	5.91	**39.96**	36.65	39.31	5.57	36.83	3.15	32.60	0

Table 3. TAF Identification and Performance Comparison for Step-By-Step JPEG Compression

Quaility Factor [%]	TAF [%]								
	Bae's Method[5]			Patra et al.'s Method			Proposed Method		
	Lena	Baboon	Airplane	Lena	Baboon	Airplane	Lena	Baboon	Airplane
90	4.98	4.66	4.39	8.69	21.24	21.34	0	0	0
80	5.10	4.66	3.88	9.49	21.22	21.58	0	0.09	0
70	6.47	5.57	5.91	8.76	21.83	25.20	0	0.39	0
60	10.10	7.23	9.96	11.40	22.58	23.75	0	0.19	0

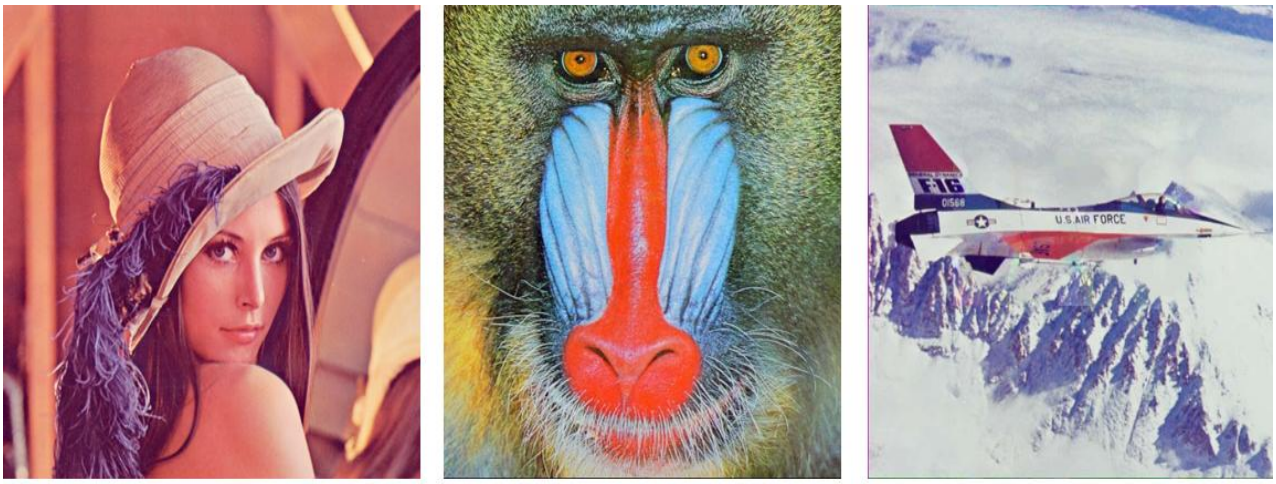
위해 JPEG 압축 실험 영상의 경우, QF(Quality Factor)를 0.7로 조정하여 손실 압축시켜 사용하였다.

표 2의 결과를 보게 되면, TAF가 0을 나타낸다는 것은 워터마크의 추출 후 그 변조 정도가 없다는 것을 뜻한다. 그러므로 원래의 워터마크를 100% 추출했다는 것이며, PSNR 값이 증가할수록 화질에 대한 성능이 사람 눈으로 보기에 더 뛰어남을 뜻한다. 제안한 방법의 경우, TAF가 모두 0에 가깝게 나타난다는 것을 볼 수 있다. 이것을 통해 비교 대상인 세 가지 방법에 보다 더 성능이 개선된 것을 확인 할 수 있다. PSNR의 경우, 제안한 방법이 가장 뛰어난 결과를 보이진 않으나, 공격받지 않은 영상과의 차이가 크지 않고, 이전 방법들과 비교하여 크게 떨어지지 않는 모습을 보이므로 화질 감소 요인이 크지 않은 것으로 확인된다.

QF를 단계적으로 조정하면서 JPEG 압축을 진행한 결과를 표 3을 통해 나타내고 있다. 결과를 보게 되면, QF가 단계적으로 하락됨에 따라 TAF가 점점 높아지는 것을 확인할 수 있다. 제안한 방법은 Baboon을 제외한 두 개의 실험 영상들 모두 QF 90%에서 60%까지 모두 0이 나타나 원본 워터마크가 그대로 추출된 것을 확인할 수 있다. Baboon의 경우, QF 70%에서 TAF값이 가장 높게 상승하였다. 결과적으로, 제안한 방법을 통해 QF 60%까지 원본 워터마크가 큰 손상 없이 추출되는 것을 확인할 수 있으므로 JPEG 압축에 대한 워터마크의 강건성이 증가했음을 알 수 있다.

VII. Conclusion and Future Directions

본 논문에서는 기존 방법을 개선하여 JPEG 압축에 강건한 DCT 영역에서의 CRT 기반 워터마킹 방법을 제안하였다. 참고문헌[10-14]는 DCT 변환 후 워터마크 삽입 위치를 무작위적



(a) (b) (c)

Fig. 7. Test Images. (a) Lena (b) Baboon (c) Airplane

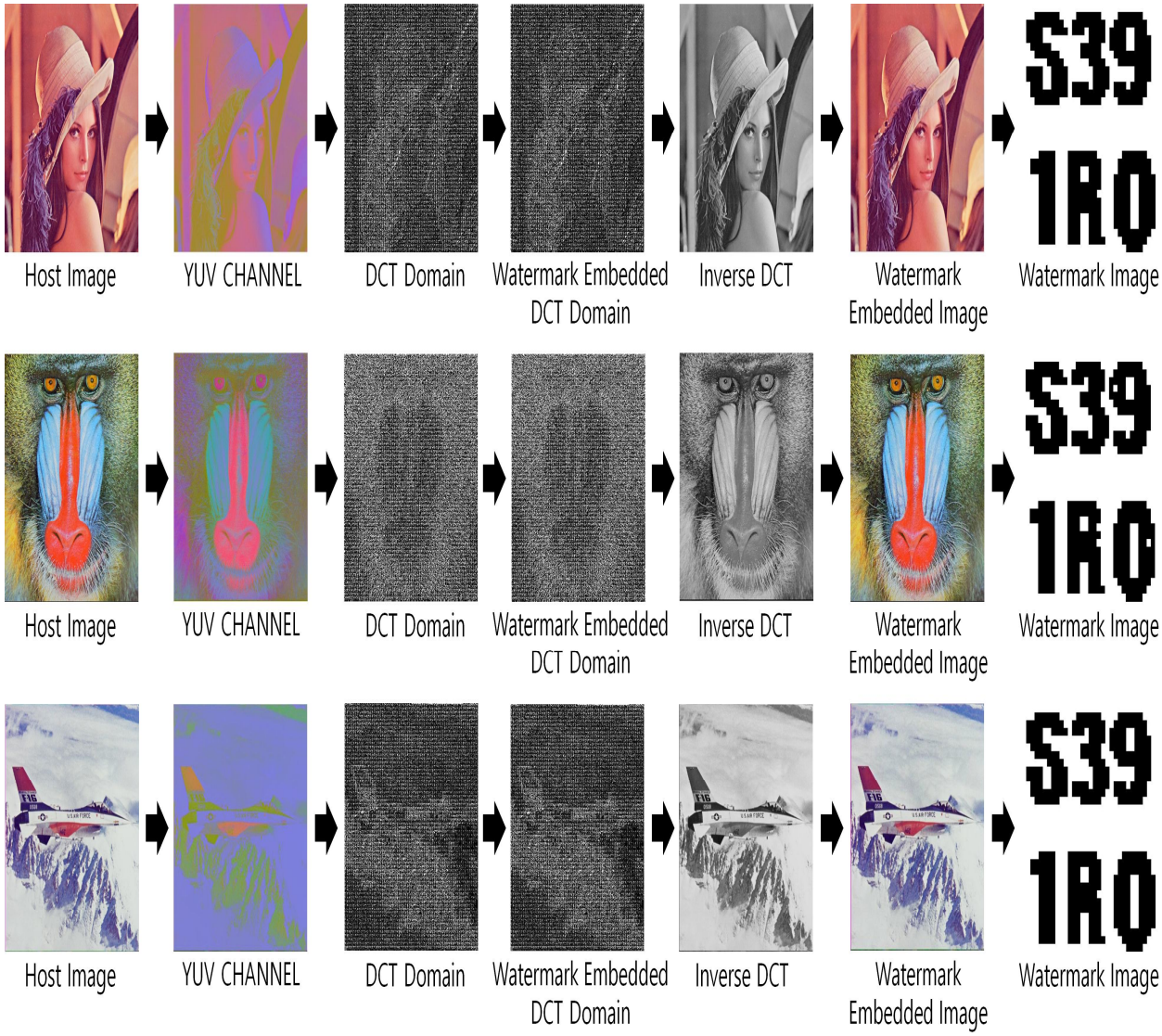


Fig. 8. Proposed Watermarking Procedure at QF 70[%]

으로 선택하였으나, 제안하는 방법에서는 DC 계수의 밀집도를 산출하여 워터마크가 삽입될 DCT 블록을 순차적으로 선택했다. 선택된 DCT 블록 내 워터마크가 삽입될 위치 또한 새로운 방법을 개발하였다. 그리고 워터마크 추출 과정에서는 C 계수를 고정시키지 않고 조정해가면서 삽입 강도에 맞춰 추출시키도록 하여 워터마크 추출 성능을 향상시켰다. 마지막으로, 타 실험과는 다르게 YUV 컬러 모델을 활용하여 명암영상뿐만 아니라 RGB 컬러 영상에서의 활용 또한 가능함을 확인하였다.

실험을 위해 다른 방법들 간의 비교를 진행한 결과, 워터마크의 삽입 및 추출 시간에 대해 삽입 시간은 크게 차이나지 않으면서 추출 시간은 다른 방법들보다 더 우수한 결과를 보였다. JPEG 압축 공격에 대한 실험 결과 또한, TAF가 비교 대상들보다 현저히 낮은 수치를 보이는 것을 확인하였다. 하지만 PSNR의 경우에는 비교 대상들과 비슷하거나 더 낮은 결과를 나타냈다. 또한, JPEG 압축 공격이 아닌 다른 영상처리 공격들에 대한 실험 결과가 부족하고 자연 영상이 아닌 텍스트 영상에 대해선 워터마크 삽입에 어려움이 있다는 한계점이 존재한다.

향후 연구해야할 부분은 PSNR 수치를 개선시킬 수 있는 방법과, JPEG 압축 이외의 다양한 공격에 대한 실험 진행, 텍스트 영상에 대한 효율적인 워터마크 삽입 방법 개발이다. 또한, 최근 발표되고 있는 CRT 기반이 아닌 워터마킹 방법들과 CRT 기반인 워터마킹 방법들 간의 비교를 진행하여 한계점에 대한 연구를 진행하는 것이다.

REFERENCES

[1] Gongsoo Jang, Hongjin Lee, Jooseung Yun and Yongsoo Park, "The Trend of Digital / Software Watermarking Technology for Digital Management," Proceedings of The KISS Conferences, Vol. 35, No. 1D, pp. 10~14, Jun, 2008.

[2] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Academic Press, San Diego, 2002

[3] V. M. Potdar, S. Han and E. Chang, “A survey of digital image watermarking techniques”, IEEE Intl. Conf. Industrial Informatics, Perth, Australia, Aug.2005, pp.709-716.

[4] C-T. Hsu and J-L. Wu, “Hidden digital watermarks in images”, IEEE Trans. Image Processing, vol. 8, no. 1, pp.58-68, Jan. 1999

[5] I. J. Cox, J. Killian, F. T. Leighton and T. Shamoon, “Secure spread spectrum watermarking for multimedia,” IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec 1997.

[6] Shinfeng D. Lin, Shih-Chieh Shie, Jian-Yi Guo, "Improving the robustness of DCT-based image watermarking against JPEG compression", International Conference on Consumer Electronics, pp. 343-344, 8-12 Jan., 2005.

[7] P. Meerwald and A. Uhl, “Survey of wavelet-domain watermarking algorithms”, Proc. SPIE, Electronic Imaging, Security and Watermarking of Multimedia Contents III, vol. 4314, pp. 505-516, 2001

[8] A. A. Mohammad, A. Alhaj and S. Shaltaf, “An improved SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership”, Signal Processing, vol. 88, pp. 2158-2180, 2008

[9] Ali, M., Ahn, C. W., Pant, M., Siarry, P, “An image watermarking scheme in wavelet domain with optimized compensation of singular value decomposition via artificial bee colony”, Information Sciences, 301, 44-60, 2015.

[10] Sung-Ho Bae, "Improved CRT-based Image Watermak ing in DCT Domain for Copyright Protection," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 16, No. 10, pp. 1163~1170, Oct, 2013.

[11] J. C. Patra, A. Karthik and C. Bornand, “A Novel CRT-based watermarking technique for authentication of multimedia contents,” Digital Signal Processing, vol. 20, no. 2, pp. 442-453, July 2009

[12] J. C. Patra, J. E. Phua and C. Bornand, “A novel DCT domain CRT-based watermarking scheme for image authentication surviving JPEG compression”, Digital Signal Processing, vol. 20, no. 6, pp. 1597-1611, Mar. 2010

[13] Patra, Jagdish C., A. K. Kishore, and Cedric Bornand. "Improved CRT-based DCT domain watermarking technique with robustness against JPEG compression for digital media authentication." In Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on, pp. 2940-2945.

[14] J. C. Patra, J. E. Phua and D. Rajan, “DCT Domain watermarking scheme using Chinese Remainder Theorem for image authentication”, in Proc. IEEE Intl. Conf. Multimedia and Expo (ICME 2010), Singapore, July 2010, pp. 111-116.

[15] U. Sudibyo, F. Eranisa, E. H. Rachmawanto, D. R. I. M. Setiadi, and C. A. Sari, “A Secure Image Watermarking using Chinese Remainder Theorem Based on Haar Wavelet Transform,” 2017 4th Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng., pp. 208 -212, 2017.

[16] Hwai-Tsu HU, Hsu L-Y, “Exploring dwt-svd-dct feature parameters for robust multiple watermarking against jpeg and jpeg2000 compression”. Comput Electr Eng 41:52-63, 2015.

[17] Shehab A, Elhoseny M, Muhammad K, Sangaiah AK, Yang P, Huang H, Hou G, “Secure and robust fragile watermarking scheme for medical images”, IEEE Access 6:10269-10278, 2018.

[18] M.-K. Kim, S. Lee, and G.-Y. Kim, “Fake Iris Image Detection based on Watermark,” Journal of the Korea Society of Computer and Information vol. 23, no. 4, pp. 33-39, Apr. 2018.

[19] W. Stallings, Cryptography and Network Security, Fifth Edition, Pearson Education Inc., 2011.

Authors

Ji-Su Choi received the B.S. degrees in Computer software from Kunsan National University, Korea, in 2018 He is currently a Masters Student in the Computer Vision Laboratory, Soongsil University. He is nterested in Computer vision, Image iProcessing, Deep Learning and Pattern Recognition.

Gye-Young Kim received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer from Soongsil University, Korea, in 1990, 1992 and 1996, respectively. From March 1996 to February 1997, he served as a Post-Doctoral Fellow at Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI), Daejon, Korea. Dr. Kim joined the faculty of the Department of Software at Soongsil University, Seoul, Korea, in 2001. He is currently a Professor in the Department of Software, Soongsil University. He is research interests are in the field of computer vision, multimedia database, augmented reality and biometric