

논문-99-4-1-07

DCT 영역에서의 정지 영상 Watermarking

권오형***, 김영식**, 박래홍**

Watermarking for Still Images in the DCT Domain

O-Hyung Kwon***, Young-Sik Kim**, and Rae-Hong Park**

요약

본 논문에서는 정지 영상에 대하여 DCT영역에서의 watermark 방법을 제안하였다. 정지 영상 내에 삽입된 watermark의 가시성을 줄이기 위하여 정지 화상의 고주파 영역에 watermark을 삽입하였으며, 고주파 영역 선별을 위하여 가변 크기의 고주파 영역 추출 방법을 제안하였다. 제안된 방법이 JPEG 압축, 저주파 필터, 중복 watermark 및 cropping등의 여러 가지 영상처리 기법에 강인한 특성을 나타내는 실험 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we propose a digital watermarking method for still images in the discrete cosine transform (DCT) domain. The adaptive watermark insertion method in the high frequency region within a given image is employed to increase the invisibility of the inserted watermark in images, in which variable block-size method is used for selection of the high frequency region. Experimental results show that the proposed watermarking method is robust to several common image processing techniques, including joint photographic experts group (JPEG) compression, lowpass filtering, multiple watermarking, and cropping.

I. 서론

1990년대 초반 world wide web의 활성화로 디지털 네트워크를 통하여 누구나 다중 매체를 손쉽게 접할 수 있게 되었다. 따라서 이러한 디지털 다중 매체를 디지털 네트워크를 통한 서비스를 제공하려는 서비스 제공자들의 소유권을 보호하려는 연구가 활발히 진행중이며, 이를 해결하려는 노력으로 디지털 watermark 기법이 제안되었다.^{[1][2][3][4][5][6][7]}

디지털 watermark기법이 제안된 초기에는 정지 영상에 대하여 공간 영역에서의 watermark 기법이 제안되었는데,

이 방법은 소유권이 없는 attacker로부터 삽입된 watermark가 쉽게 제거될 수 있다는 단점을 나타내고 있다.^[1] 따라서 최근에는 공간 영역에서 보다 월등한 특성을 나타내는 주파수 영역에서 watermark 삽입 방법들이 제안되고 있다.^{[1][3]} 삽입된 watermark의 가시성을 어렵게 하기 위하여 인간의 시각적 특성을 이용한 방법^[3]이 Piva 등에 의하여 제안되었는데, 이 방법은 watermark가 삽입된 DCT 계수를 역 DCT한 후 공간 영역에서 인간의 시각적 특성을 이용한 방법이다. 하지만 이 방법은 인간의 시각적 특성을 공간 영역에서 이용하기 때문에 삽입된 watermark 정보가 손실되어 검출값이 감소하는 단점을 나타낸다. 반면에 본 논문에서 제안된 방법은 영상의 고주파 영역을 추출한 후 이를 DCT 평면으로 변환하여 watermark를 삽입함으로써 성능을 향상시켜 이러한 단점을 보완하였다.

* 한국전자통신연구원

Electronics and Telecommunications Research Institute

** 서강대학교 전자공학과

Dep t. of Electronic Engineering, Sogang University

본 논문에서는 gray level 영상에 적용하기 위한 인간의 시각적 특성을 이용한 DCT 영역에서의 watermark 방법을 제안하였다. II장에서는 제안된 방법의 watermark 삽입 및 검출 방법을 기술하였으며, III장에서는 실험 결과를 나타내었고, IV장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 언급하였다.

II. 제안한 watermark 삽입 및 검출 방법

본 논문에서 제안된 watermark 삽입 방법에 관한 블록 다이어그램을 그림 1에 나타내었다. 삽입 과정의 기본 개념은 DCT 영역에서 watermark를 삽입하는 것으로, Cox 등[1]이 제안한 방법과 같이 watermark $W=[w_1, w_2, \dots, w_F]$ 는

길이가 F 이고, 각 w_j 는 평균값이 0이고 분산이 1인 Gaussian 분포를 갖는 pseudo-random number이다.

제안된 watermark 삽입 방법의 첫 단계는 원영상 $I(x, y)$ 를 그림 2의 방법으로 고주파 성분을 추출한다. 이를 위하여 $M \times M$ 크기의 원영상 $I(x, y)$ 를 $N \times N$ 개의 구역으로 분할한다. 여기서 N 은 2보다 같거나 큰 값을 취하는데 통상 고주파 성분을 찾기 위해 반복 횟수를 줄이기 위해 N 을 2보다 큰 값을 초기 값으로 취한다. 분할된 M/N 개의 영상 I_h 에 대하여 $S \times S$ 의 크기를 갖는 Sobel edge 검출기를 사용하여 edge 유무를 판정하고 edge가 검출되지 않은 경우 그 위치의 M/N 크기의 블록 내의 영상 데이터를 평균값으로 대체하고 edge가 검출된

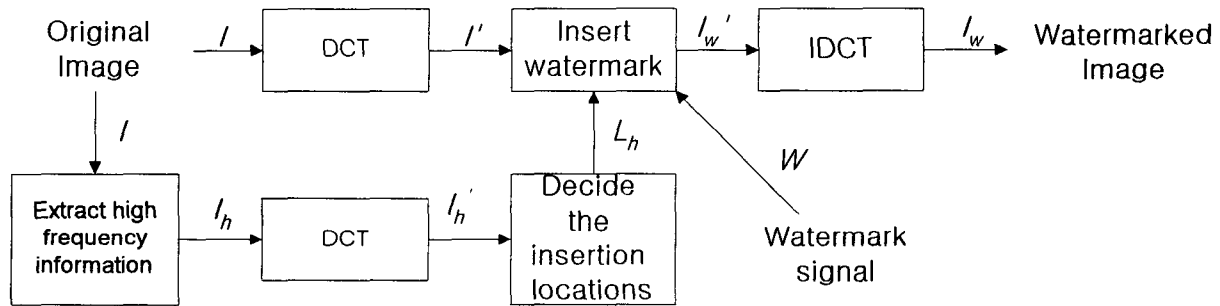


그림 1. 제안한 watermark 삽입 블록 다이어그램
Fig. 1. Blockdiagram of the proposed DCT based watermark insertion process

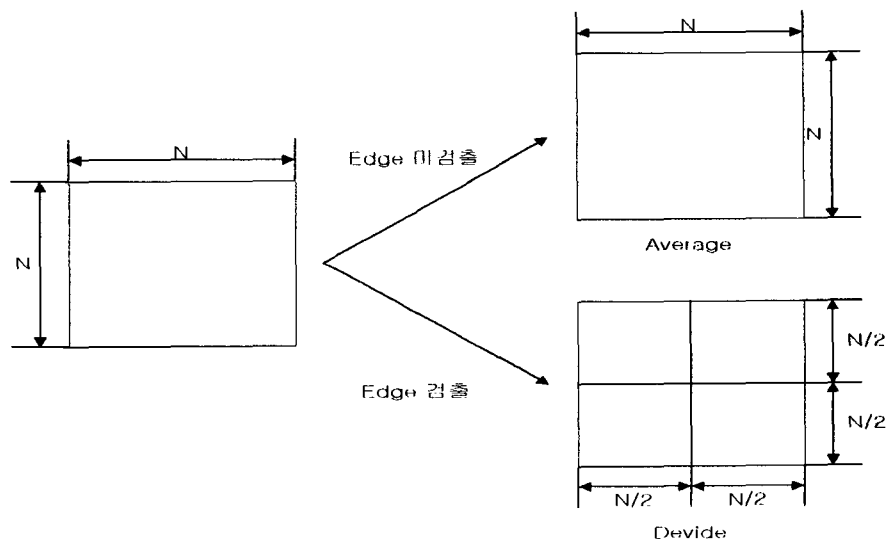


그림 2. 고주파 성분 검출 방법
Fig. 2. High frequency component extraction method within an image

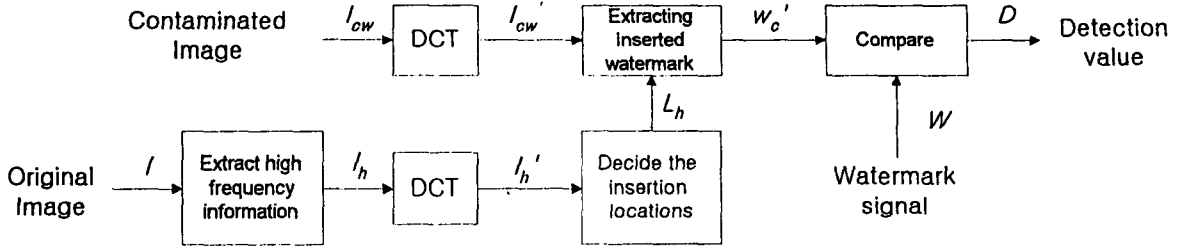


그림 3. 제안한 워터마크 검출 블록다이아그램
Fig 3. Blockdiagram of the proposed DCT based watermark detection process

경우 그 블록을 다시 가로 세로 1/2 크기로 분할한 후 상기 과정을 분할된 블록의 크기가 edge 검출기의 크기보다 작지 않을 때까지 되풀이 하여 고주파 성분이 추출된 영상 I_h 을 구한다. 고주파 성분을 추출하는 이유는 이곳에 워터마크를 삽입하면 원영상의 변형 유무를 판단하기 어려운 장점이 있기 때문이다.

두 번째 단계에서는 원영상 I 와 첫번째 단계에서 구한 고주파 성분을 추출한 변환된 영상 I_h 를 각각 식 (1)과 (2)를 이용하여 DCT 평면으로 변환하여 I 과 I_h' 을 구한 후, 고주파 성분을 추출한 영상 I_h' 의 DCT 계수들 중 DC 성분을 제외한 AC 성분의 계수들을 크기 순으로 정렬한다. 식 (3)은 가변 블록 크기를 나타낸다. 이때 I_h' 의 계수를 DC 성분을 제외한 AC성분에 대하여 크기 순으로 정렬하고, 정렬된 AC 계수들의 u, v (가로 및 세로 주파수 성분) 정보 L_h 를 이용하여 원영상 I 로부터 얻어진 DCT 계수 I' 에 watermark W 를 식 (5)를 이용하여 I_w' 을 구한다. 여기서 watermark W 를 삽입하는 식은 식 (4), 식 (5) 및 식 (6)이 제안되고 있는데, 식 (4)는 항상 역변환이 가능하고 식 (5)와 식 (6)은 I_k' 이 영이 아닌 경우에만 역변환이 가능하다. 식 (4)의 경우 I' 의 값들이 큰 분산을 갖는 경우 적용하기가 곤란한 단점이 있고^[1], 식 (5)나 식 (6)을 적용시 Cox등이 제안한 방법과 같이 영이 아닌 DCT계수들에 대하여 watermark를 삽입하는 경우 역변환이 가능하게 된다. 또한 식 (6)은 $e^{\alpha \cdot w_k}$ 가 작은 값을 갖는 경우 식 (5)와 비슷한 결과를 갖게 되므로 본 논문에서는 비교적 계산이 편한 식 (5)를 사용하였다. 한편 여기서는 scaling parameter이며 본 실험에서는 이 값을 0.01부터 0.1까지 변화시키며 watermark 성능을 관찰하였다.

$$I'(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (7)$$

$$\cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (1)$$

$$C(u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{for } u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$N = 2^k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, P \\ M = 2^i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, q, \quad k < i \quad (3)$$

$$I_{wk}' = I_k' + \alpha \times w_k \quad (4)$$

$$I_{wk}' = I_k' \times (1 + \alpha \times w_k) \quad (5)$$

$$I_{wk}' = I_k' \times (e^{\alpha \cdot w_k}) \quad (6)$$

Watermark 삽입 과정의 마지막 단계는 두 번째 단계에서 얻어진 DCT 계수 I_w' 을 식 (7)을 이용하여 역 DCT 과정을 거쳐 watermark가 삽입된 영상 I_w 를 얻는다.

$$I_w(x, y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(u)C(v)I_w'(u, v) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right] \quad (7)$$

Watermark 검출과정을 그림 3에 나타내었다. 첫번째 단계로, 원영상 I 로부터 watermark 삽입 과정에서 적용한 방법과 같이 원영상의 고주파 성분 I_h 와 watermark가 삽입된 영상 I_{cw} 를 각각 DCT 평면으로 변환하여 각각의 I_h' 과 I_{cw}' 을 구한다.

두번째 단계에서는 watermark 삽입 과정에서와 마찬가지로

지로 DCT 계수중 DC 계수를 제외한 AC 계수를 크기 순으로 정렬하여 정렬된 AC 계수들의 u, v (가로 및 세로 주파수 성분) 정보 L_h 와 식 (5)를 이용하여 삽입된 watermark W_c' 을 추출한다. 검출과정의 마지막 단계에서는 원래의 watermark와 추출된 watermark 사이의 유사성을 측정한다. 이때 사용된 유사 함수는 Cox 등^[1]이 제안한 식 (8)을 사용하여 watermark 검출값 D 를 구하였다.

$$D = \frac{W_c \cdot * W}{W' \cdot * W'} \quad (8)$$

여기서 *는 an inner product operator, W 와 W_c' 은 각각 삽입된 watermark와 추출된 watermark를 나타낸다.

III. 실험 결과 및 토의

제안된 방법의 성능을 실험하기 위하여 512×512크기의 8bit의 gray level을 갖는 Baboon, Boat, Bridge, Couple, Lena, Man 및 Pepper 영상을 사용하였고, Lena 영상을 그림 4에 나타내었다. 따라서 영상의 크기 M 은 512, F 는 1000, 그리고 영상의 고주파 성분을 추출하기 위한 전처리 과정의 블록의 크기 N 의 초기 값을 256으로 하였고 이때 edge를 검출하기 위해 3×3크기의 Sobel operator를 사용하였다.

그림 5에 Lena영상으로부터 고주파 성분을 추출한 결과를 나타내었다. 또한 peak to signal noise ratio (PSNR)

로 검출 성능을 비교하기 위하여 α 를 0.02부터 0.12까지 0.02간격으로 변화시켰으며, 이에 관한 실험 결과를 그림 6에 나타내었다.



그림 4. Lena 영상 (512×512)
Fig. 4. Lena image (512×512)



그림 5. 고주파 성분을 추출한 Lena 영상 결과
Fig. 5. Extracted frequency component for the Lena image

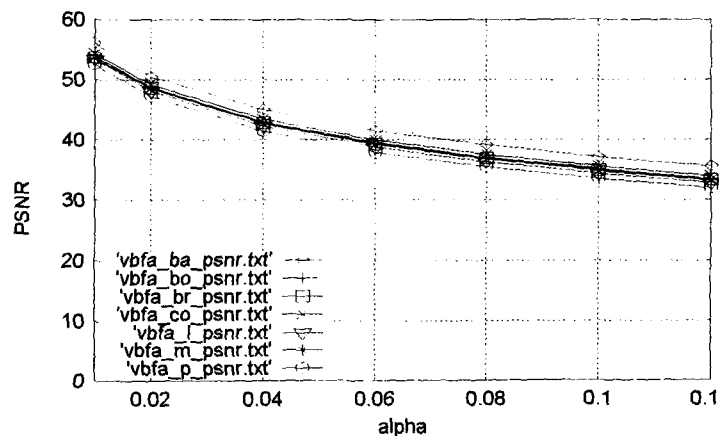


그림 6. α 값 변화에 따른 다양한 실험 영상의 PSNR 결과
Fig 6. PSNR as a function of α for various test images

그림 6부터 10까지의 실험 결과에서 Baboon, Boat, Bridge, Couple, Lena, Man 및 Pepper에 관한 실험 결과를 ba, bo, co, l, m, p로 표시하였고 vbfa는 variable-block-fixed-alpha를 나타낸다.

또한 watermark를 얻기 위한 random number의 seed number를 100으로 하였다. 제안한 방법의 성능 및 강인성을 실험하기 위하여 watermark가 삽입된 영상에 대하여 다양한 영상 처리 기법을 적용하였다.

1. No attack

이 실험은 watermark가 삽입된 영상에 대하여 attack

을 하지 않은 경우에 PSNR과 watermark 검출 결과를 살펴보기 위한 실험으로 삽입된 watermark의 강도를 나타내는 값 변화에 따른 PSNR결과를 다양한 실험 영상에 대해 그림 6에 나타냈으며, 제안한 방법의 의도대로 고주파 성분에 watermark를 삽입하였기 때문에 비교적 PSNR이 우수한 결과를 나타냈으며, watermark가 삽입된 영상의 화질에 대한 주관적 평가도 만족할만한 결과를 나타내었다. 또한 그림 7에서 알 수 있듯이 watermark 검출 성능도 우수하게 나타남을 알 수 있었다.

2. JPEG 압축

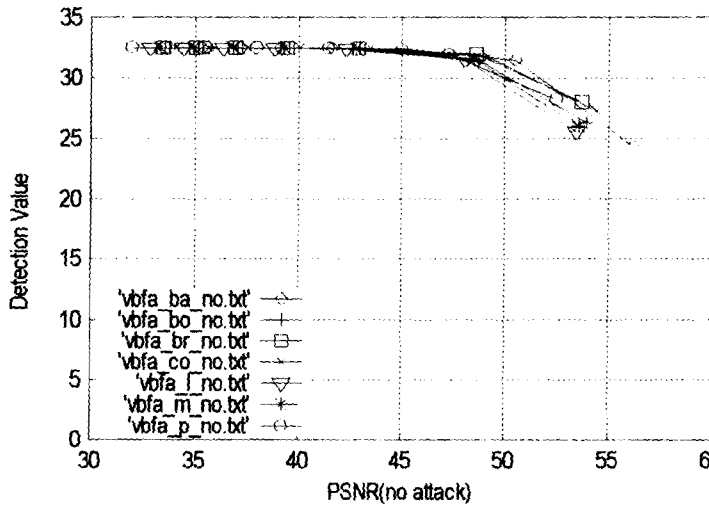


그림 7. No attack시 watermark 검출결과
Fig. 7. Watermark detection results (no attack)

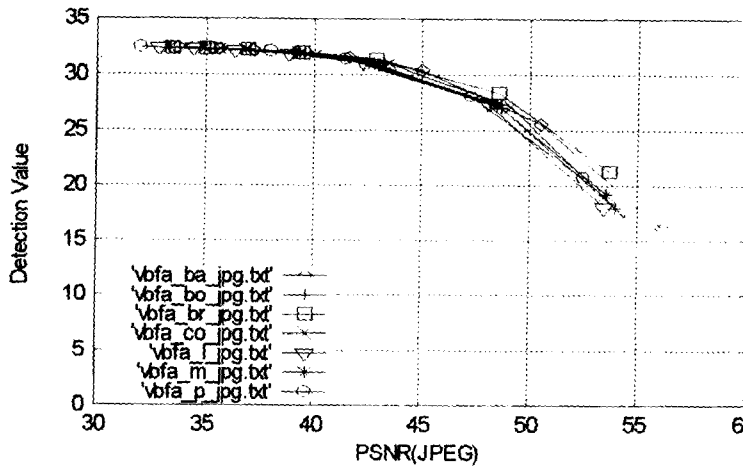


그림 8. JPEG 압축후의 watermark 검출 결과
Fig. 8. Watermark detection results (JPEG)

Watermark가 삽입된 영상에 대한 attack 방법으로 가장 흔히 사용되는 것은 JPEG 압축이며, 이를 실험하기 위해 압축비를 40으로 하고 공간 해상도를 300 dots/inch 로 설정하였다. 그림 8에 실험 결과를 나타내었으며 실험한 PSNR의 범위에 대하여 watermark 검출성능이 양호하게 나타남을 보였다.

3. Lowpass filtering

본 실험을 위해 3×3 lowpass filter를 사용하였으며 lowpass filter후의 영상의 화질이 열화되었음에도 불구하고

고 그림 9의 결과에서 알 수 있듯이 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 다만 Baboon 영상의 경우 원영상 자체가 많은 고주파 성분을 포함하고 있어 상대적으로 많은 watermark가 고주파 성분에 삽입되었고 삽입된 watermark가 lowpass filtering후 비교적 많이 손실된 것으로 판단된다. 본 논문에서 제안한 방법이 주어진 영상의 고주파성분에 워터마크를 삽입하였기 때문에 동일 조건의 다른 방법에 비해 화질이 다소 개선되었으나 상대적으로 lowpass filter와 같은 attack시 다소 검출성능이 떨어진다.

4. Cropping

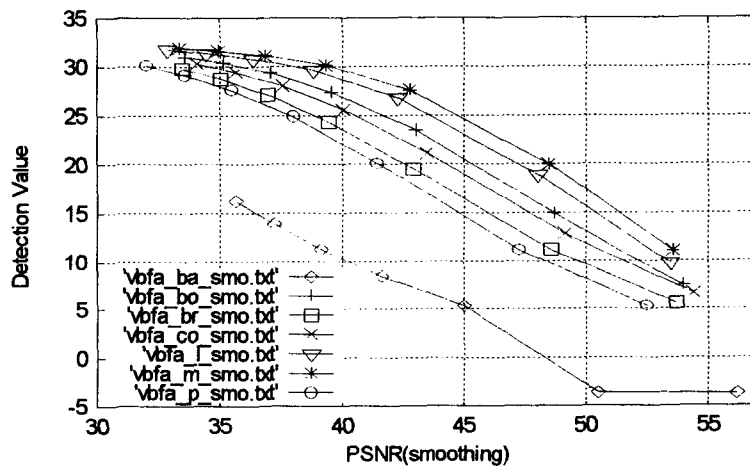


그림 9. Lowpass filter를 거친 후 watermark 검출결과
Fig. 9. Watermark detection results (lowpass filter)

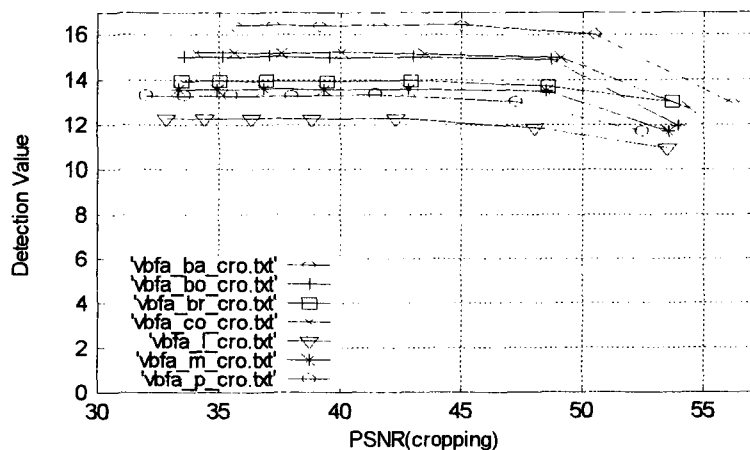


그림 10. Cropping시 watermark 검출 결과
Fig. 10. Watermark detection results (cropping)

이 실험은 watermark가 삽입된 영상의 일부를 도용했을 시의 watermark 검출 성능을 알아보기 위한 것으로, 원 영상의 1/4크기를 갖는 영상을 중심부에서 취했다. 검출과정에서는 3/4에 해당하는 나머지 부분을 원영상으로 채운 후 watermark 검출하였고, 그 결과를 그림 10에 나타냈다. 검출값이 다른 attack보다 평균적으로 낮은 값을 나타내는 이유는 watermark가 삽입된 영상의 일부를 취했기 때문에 그만큼 watermark 손실이 발생했기 때문이다. 또한 cropping의 경우 검출결과는 영상의 어느 부분을 취하는가에 검출 결과가 좌우됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

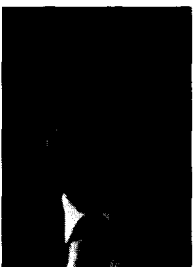
제안한 watermark 삽입 및 검출 방법은 DCT 평면상에서 고주파 성분을 이용하였다. 고주파 성분쪽에 변형을 가하게 되면 인간의 시각적 특성에 따라 워터마크된 영상이 원영상과 비교하여 화질의 열화가 적다는 장점이 있다. 실험 결과를 토대로 제안한 방법으로 좋은 watermark 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

추후 연구 과제로는 자동화된 watermark 삽입 및 추출을 위하여 값과 watermark 검출값 D의 선정을 주어진 영상에 대해 최적의 값을 도출하는 것과 동영상 및 컬러 영상에 적용 가능한 방법을 연구하는 데 있다.

참 고 문 헌

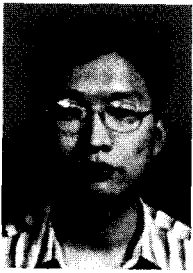
- [1] J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *NEC Research Institute Technical Report*, 95-10, 1995.
- [2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," in *Proc. 1996 Int. Conf. Image Processing*, vol. III, pp. 243-246, Lausanne, Switzerland, Sep. 1996.
- [3] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," in *Proc. Int. Conf. Image Processing 97*, vol. I, pp. 520-523, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 1997.
- [4] S. Craver, N. Memon, B. Yeo, and M. Yeung, "Can invisible watermarking resolve rightful ownership?," *IBM Research Report*, RC 20509, Jul. 1996.
- [5] O.-H. Kwon, Y.-S. Kim, and R.-H. Park, "A DCT-domain watermarking method using human visual system," in *Proc. International Workshop on HDTV '98*, pp. 252-260, Seoul, Korea, Oct. 1998.
- [6] O.-H. Kwon, Y.-S. Kim, and R.-H. Park, "Watermarking for still images using the human visual system," in *Proc. International Symposium on Circuit and System 99*, vol. IV, pp. 76-79, Orlando, FL, USA, May/June 1999.
- [7] Y.-S. Kim, O.-H. Kwon, and R.-H. Park, "Watermarking method for digital images using the human visual system," in *Proc. International Symposium on Circuit and System 99*, vol. IV, pp. 80-83, Orlando, FL, May/June 1999.
- [1] J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for

저 자 소 개



권 오 형

1981년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1983년 3월 ~ 현재 전자통신 연구원 무선방송 기술 연구소
 1992년 8월 ~ 현재 서강대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 주관심분야: watermarking, DCT transform,



김 영 식

1998년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1998년 3월 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 영상처리연구실 석사과정
주관심분야: watermarking, wavelet transform



박 래 홍

1976년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1978년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1981년 미국 Stanford University 전기공학과(공학석사)
1984년 미국 Stanford University 전기공학과(공학박사)
1984년 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 교수
주관심분야: 컴퓨터 비전, 영상처리, 패턴인식