

다단계 유통 추적을 위한 DWT-SVD 기반의 홀로그래피 포렌식마크

정희원 이 덕*, 김 종 원**

Holographic Forensic Mark based on DWT-SVD for Tracing of the Multilevel Distribution

De Li*, JongWeon Kim**^o *Regular Members*

요 약

본 논문은 다단계 불법유통 추적을 위하여 배포단계 마다 포렌식마크를 삽입하고 불법 유통시 삽입된 포렌식마크를 검출하여 유통경로 추적이 가능하도록 하는 방식을 제안한다. 단계마다 저작권 및 사용자 정보를 포함한 포렌식마크를 삽입해야 하므로 대용량의 정보 삽입이 필요하고, 또 단계마다 삽입된 정보들 사이에 신호간섭이 발생하지 않도록 하여야 정확한 검출이 가능하다.

제안방식은 포렌식마크로부터 디지털 홀로그램을 생성하여 DWT-SVD 도메인에 삽입하는 방식으로 다단계 불법유통 추적이 가능하도록 구성하였다. 대용량 정보 삽입을 구현하기 위하여 포렌식마크로부터 비축홀로그램(Off-axis Hologram)을 생성하고 단계별 유통추적이 가능하도록 홀로그램을 DWT(Discrete Wavelet Transform)도메인의 HL, LH, HH band에 삽입하여 신호간섭을 줄였다. 또 SVD(Singular Value Decomposition)를 홀로그램이 삽입된 신호에 적용하여 단계별 검출성능 및 안전성을 향상시켰다. 실험결과 각 단계별로 저작권 정보 및 사용자 정보로 활용이 가능한 128bit의 포렌식마크 삽입이 가능하여 3단계 배포에 총 384bit를 삽입하고 단계별로 정확한 검출이 이루어졌으며 JPEG압축에도 강인한 것으로 나타났다.

Key Words : Hologram, DWT, SVD, Forensic Mark, Distribution Trace

ABSTRACT

In this paper, we proposed a forensic mark algorithm which can embed the distributor's information at each distribution step to trace the illegal distribution path. For this purpose, the algorithm has to have the high capacity payload for embedding the copyright and user information at each step, and the embedded information at a step should not interfere with the information at other step.

The proposed algorithm can trace the multilevel distribution because the forensic mark is generated by digital hologram and embedded in the DWT-SVD domain. For the high capacity embedding, the off-axis hologram is generated from the forensic mark and the hologram is embedded in the HL, LH, HH bands of the DWT to reduce the signal interference. The SVD which is applied the holographic signal enhanced the detection performance and the safety of the forensic mark algorithm. As the test results, this algorithm was able to embed 128bits information for the copyright and user information at each step. In this paper, we can embed total 384bits information for 3 steps and the algorithm is also robust to the JPEG compression.

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

* 연변대학교 컴퓨터과학과, ** 상명대학교 디지털저작권보호연구소(lide@smu.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-08-376, 접수일자 : 2009년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 1일

I. 서 론

초고속 인터넷이 대중화되고 인터넷을 통한 불법 복제가 확산됨에 따라 저작권보호가 중요한 사회적 이슈로 떠오르고 있다. 최근 디지털 콘텐츠 제공업체들이 잇따라 DRM이 제거된 콘텐츠 판매를 선언 하면서 DRM Free가 시장의 큰 흐름으로 자리 잡게 되었다. 또 각국의 불법복제에 대응한 법제도적 조치와 기술적보호조치의 강화로 워터마킹에 대한 관심이 어느 때보다 고조되고 있는 실정이다.

워터마킹 기술은 다양한 유통경로를 통하여 빠르게 배포되는 불법콘텐츠에 대한 유통경로 추적에 활용 가능하다. 이를 위하여 R. Karkarala, A. Sverdlow^{[1]-[5]} 등은 DWT(Discrete Wavelet Transform)나 SVD(Singular Value Decomposition) 도메인에서 워터마크를 삽입하는 다양한 방법들을 제안하고 있으나 대부분 유통추적을 위한 다단계 삽입검출이나 대용량에 초점을 맞추어진 것이 아니라 기하학적 변형이나 손실압축 등 공격에 대한 강인성에 중점을 두고 있다. Nobukatsu^[6]는 워터마킹 삽입 방법의 하나로 광학 분야에서 사용되는 홀로그래피 기술을 사용하였다. 홀로그래피를 이용한 워터마킹 기법은 삽입하고자 하는 워터마크 정보로부터 홀로그램을 생성하여 이를 푸리에 변환을 거쳐 원본 이미지에 덮어 씌우므로써 워터마크가 삽입된다. 특히 Kyu Tae Kim^[7]이 제안한 비축홀로그램(Off-axis Hologram)을 이용한 워터마킹은 대용량 삽입이 가능하고 원본 없이 검출이 가능하며 다양한 기하학적 변형에 강인한 등 특징을 갖고 있다.

다단계 유통 추적을 위하여서는 배포 단계별로 정보 삽입이 이루어지므로 대용량 삽입이 가능해야 하고 추적시에는 단계별로 정확한 검출이 이루어져야 한다. DWT나 SVD도메인에서 상관도 검출기법으로 다단계 삽입과 검출을 수행할 수 있으나 삽입할 수 있는 정보량이 적고 삽입 정보량을 늘이기 위하여 직교성을 갖는 Random Sequence 크기를 줄일 경우 검출 성능을 저하시켜 검출이 제대로 이루어지지 못하며 다양한 기하학적 변형에 강인하지 못하는 등 단점이 있다. 또 기존의 홀로그램을 이용한 워터마킹 기법^{[6],[7]}들은 다단계 삽입을 고려하지 않고 홀로그래피 워터마크를 공간도메인이나 단순 주파수 도메인에 삽입하는 방식을 취하여 단계별 검출성능 또는 안전성 측면에서 개선이 필요하다.

이를 위하여 본 논문에서는 비축홀로그램(Off-axis Hologram)을 이용하여 삽입용량을 대폭

늘였고, DWT도메인에 홀로그램을 삽입함으로써 다단계 삽입과 검출이 가능하도록 하였다. 또 SVD를 홀로그램이 삽입된 신호에 적용함으로써 검출성능을 효과적으로 향상시켰으며 더욱 많은 정보 삽입이 가능하도록 하였다. 본 논문에서 제안하는 포렌식마크는 저작권 정보나 구매자 정보뿐만 아니라 사용자의 생체정보나 2차원 바코드와 같은 다양한 형태의 정보로 구성하는 것이 가능하다.

II. 홀로그램에 의한 워터마킹

1948년 Gabor^[8]에 의해 최초로 제안된 홀로그램은 Leith와 Upatniek^[9]에 의해 분리된 두 개의 코히어런트한 빛의 간섭을 이용한 비축 홀로그램(off-axis hologram)이 발표된 이후 3차원 영상의 디스플레이를 위한 가장 유력한 수단으로 인식되어 왔다.

그림 1은 홀로그램 기록방법과 복원방법을 나타낸 것이다. 홀로그램은 물체에서 회절된 광파를 기록하는 과정과 기록시 사용된 광원을 이용하여 복원하는 과정으로 나뉜다. 홀로그램은 진폭과 위상정보를 기록하기 위해 가간섭성을 갖는 기준파와 물체파의 간섭패턴을 이용한다. 기준파와 물체파를 이용한 Fourier hologram은 식(1)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 U_H(\xi, \eta) = & |O(\xi, \eta)|^2 + |R(\xi, \eta)|^2 \\
 & + O(\xi, \eta)^* R(\xi, \eta) \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda_1 f} (\xi x_r + \eta y_r)\right. \\
 & \left. + j \frac{2\pi}{\lambda_1 f} (\xi x_0 + \eta y_0)\right\} \\
 & + O(\xi, \eta)^* R(\xi, \eta) \exp\left\{+j \frac{2\pi}{\lambda_1 f} (\xi x_r + \eta y_r)\right. \\
 & \left. - j \frac{2\pi}{\lambda_1 f} (\xi x_0 + \eta y_0)\right\}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, 우변의 첫 번째와 두 번째 항은 단지 기준파와 물체파의 세기만을 표현하기 때문에 디지털

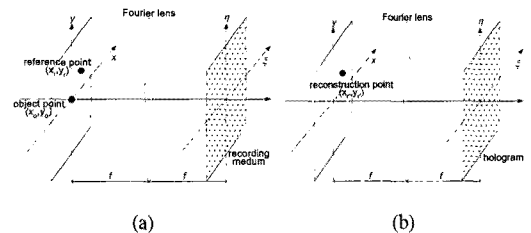


그림 1. 홀로그램의 기록(a)과 복원(b)

홀로그램 복원시 세 번째와 네 번째 항만을 이용한다. 식(2)는 식(1)에서 표현된 홀로그램으로부터 물체파 정보를 복원하기 위한 복원파의 복소진폭을 나타낸다.

$$U_R(\xi, \eta) = R(\xi, \eta) \exp\{-j \frac{2\pi}{\lambda_2 f'} (\xi x_r' + \eta y_r')\} \quad (2)$$

여기서, λ_2 와 f' 는 각각 복원시 사용된 광원의 파장과 프리에 변환 렌즈의 초점길이를 나타낸다. 식(2)의 복소진폭을 식(1)의 세 번째와 네 번째 복소진폭에 곱하면 홀로그램으로부터 회절되는 물체파를 얻을 수 있다.

워터마크 삽입은 식(1)에서 생성된 비축홀로그램을 원본 신호에 중첩시킴으로써 이루어진다. 워터마크 검출시에는 원본 이미지 없이 홀로그램의 복원 방법만으로 간단하게 삽입 정보를 추출할 수 있다. 워터마크 된 신호에 식(2)의 복원파를 곱한 후 역프리에 변환시키면 삽입된 멀티비트 정보를 추출할 수 있다. 비축홀로그램을 사용함으로써 실상과 허상을 분리하여 멀티비트 정보가 동시에 추출되는 것을 방지하였다.

III. DWT-SVD 기반의 홀로그래피 포렌식마킹

3.1 홀로그램의 생성 및 복원

홀로그램의 생성은 홀로그램 생성기(HG)에 의해 완성되는데 HG에는 식(1)에 기반한 홀로그램 생성 알고리즘이 내장되어 있고 생성에 필요한 포렌식마크를 입력으로 H-Key에 의해 홀로그램이 생성된다. 홀로그램 복원은 홀로그램 복원기(HR)에 의해 완성되는데 HR에는 식(2)에 기반한 홀로그램 복원 알고리즘이 내장되어 있고 검출된 홀로그램을 입력으로 H-Key에 의해 포렌식마크가 복원된다. 여기서 H-Key는 기준파와 물체파의 분리각도 θ 와 좌표값 r 로 구성된다.

3.2 홀로그래피 포렌식마크 삽입

Holographic 포렌식마크의 삽입은 DWT-SVD도메인에서 진행되며 구체적인 삽입과정은 그림 2에서 보여지는바와 같다. 홀로그램이 삽입된 이미지는 식(3)과 같이 생성된다.

$$I_h = IDWT(S_{bh}X(U_b X U_{bh})X(V_b X V_{bh})^T) \quad (3)$$

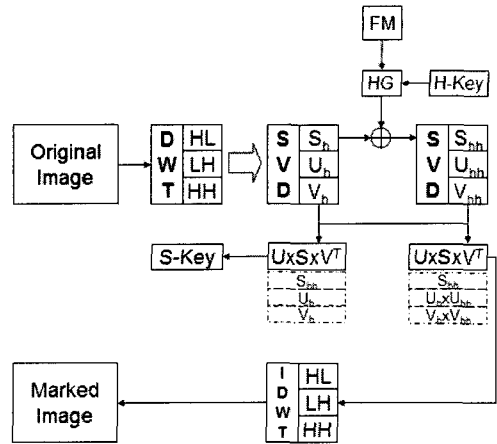


그림 2. 포렌식마크 삽입과정

원본 영상에 홀로그램을 삽입하는 단계는 다음과 같이 진행된다. Step1: 원본 이미지에 대하여 2레벨 DWT수행. Step2: Subband 중 하나를 선택하여 계수 값에 대해 SVD 수행하여 S_b 및 U_b, V_b 생성. Step3: 식(6)에 따라 S_b 에 홀로그램을 삽입. Step4: 홀로그램이 삽입된 S_b 에 SVD 행렬분해를 수행하여 S_{bh} 및 U_{bh}, V_{bh} 생성. Step5: 행렬곱 연산을 통하여 $U_b X U_{bh}, V_b X V_{bh}$ 계산. Step6: $U_b X U_{bh}, V_b X V_{bh}$ 및 S_{bh} 로 해당 Subband의 계수 값을 구성. Step7: Subband의 계수 값들로부터 IDWT를 통하여 홀로그램이 삽입된 영상을 생성. Step8: U_b, V_b 및 S_{bh} 로 홀로그램 검출 시 사용되는 검출키 S-Key 생성

$$S_{bh} = S_b + \partial H_b \quad (4)$$

식(3)에서 S_{bh} 는 식(4)에서와 같이 생성되며 S_b 는 원본 이미지를 DWT하여 얻은 Subband 계수 값을 다시 SVD하여 얻은 S 성분 값이다. H_b 는 HG에 의해 포렌식마크로부터 생성된 홀로그램이며 ∂ 는 홀로그램 삽입 강도이다. 여기서 b는 삽입되는 HL, LH, HH subband를 의미한다.

U_b, V_b 는 각 subband계수를 SVD하여 얻은 U, V 성분(직교행렬)이고, U_{bh}, V_{bh} 는 홀로그램이 삽입된 S_b 를 다시 SVD하여 얻은 U, V 성분(직교행렬)이다. SVD 행렬분해는 $X = U_x S_x V^T$ 로 표현되며 하나의 삼각행렬 S와 두개의 직교행렬 U와 V로 분해된다.

3.3 홀로그래피 포렌식마크 검출

홀로그램 검출과정 역시 DWT도메인에서 진행되는데 우선 홀로그램이 삽입된 영상을 DWT하여 각각의 Subband 계수를 생성하고 홀로그램이 삽입된 계수에 대하여 SVD 행렬분해를 수행하고 삽입단계

에서 생성된 검출키로 홀로그래를 검출하게 된다. 구체적인 검출과정은 그림 3에 나와 있는바와 같다. 식(5)과 같이 홀로그래가 삽입된 이미지로부터 행렬 분해가 이루어지며 식(6)과 같이 검출키로부터 행렬 분해가 이루어져 각각 하나의 삼각행렬과 두개의 직교행렬을 생성한다. 직교행렬의 전치행렬은 역행렬과 같다는 특성에 의하여 식(6)에서 생성된 직교행렬 U_b, V_b 의 전치행렬을 식(5)에서 생성된 두개의 직교행렬에 각각 곱하면 식(7)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 식(7)에서 생성된 직교행렬 U_e, V_e 와 S_{bh} 에 의하여 식(8)과 같이 홀로그래가 삽입된 S_h' 를 얻을 수 있다.

SVD(DWTb(Ih))=>

$$S_{bh}X(U_bXU_{bh})X(V_bXV_{bh})T \quad (5)$$

$$SVD(S-Key) \Rightarrow S_{bh}XU_bXV_b^T \quad (6)$$

$$U_e = U_b^T X(U_bXU_{bh}) = U_{bh},$$

$$V_e = V_b^T X(V_bXV_{bh}) = V_{bh} \quad (7)$$

$$S_h' = S_{bh}XU_eXV_e^T \quad (8)$$

S_h' 는 홀로그래 삽입단계에서 생성된 S_h 의 근사

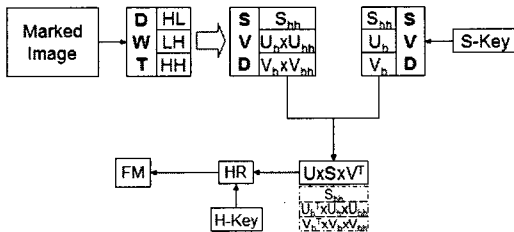


그림 3. 포렌식마크 검출과정

홀로그래가 삽입된 영상에서 홀로그래를 검출하는 단계는 다음과 같이 진행된다. Step1: 홀로그래가 삽입된 이미지에 대하여 2레벨 DWT 수행. Step2: Subband 중 홀로그래가 삽입된Subband를 선택하여 계수 값에 대해 SVD 수행하여 S_{bh} 및 U_bXU_{bh}, V_bXV_{bh} 를 생성. Step3: S-Key를 SVD 행렬 분해하여 S_{bh} 및 U_b, V_b 를 생성. Step4: 직교행렬 U_b, V_b 의 전치행렬을 생성하여 Step2에서 생성된 U_bXU_{bh}, V_bXV_{bh} 에 각각 행렬곱을 수행. Step5: 행렬곱에 의해 생성된 U_e, V_e 와 S_{bh} 로 S_h 의 근사치인 S_h' 생성. Step6: S_h' 를 HR에 입력하여 H-Key로 포렌식마크를 복원

치로 포렌식마크를 복원하기 위한 입력 값으로 사용된다.

IV. 실험결과

본 논문의 실험에서는 512x512 표준 Gray image를 원본 영상으로 홀로그래 삽입에 사용하였으며 포렌식마크 정보는 binary image로 표현하여 홀로그래로 생성하였다. 또 다단계 삽입과 검출에 따른 변환과 신호간섭 그리고 압축 등 변형으로 인한 Bit error에 대비하여 Binary image는 삽입정보 1bit를 인접된 4개의 픽셀로 표현하였다. 그림 4의 왼쪽 블록패턴이 1 bit 삽입을 의미하고 오른쪽이 0 bit 삽입을 의미한다. 흰색 블록의 픽셀 값은 0.7(0.7x255=178.5)이고 검출시 대각 픽셀 값이 임계치 이상일 경우 정확한 검출이 이루어지도록 설정하였다.

본 논문에서는 128bit의 포렌식마크 정보를 랜덤하게 생성하고 0 bit와 1 bit의 블록패턴에 따라 이 정보로 32x16 binary image를 구성하여 사용하였다. 그림 5는 128bit의 포렌식마크 정보에 의해 생성된 binary image와 이 binary image를 홀로그래로 변환한 결과를 보여준다.

그림 6은 LH, HL, HH 등 3개의 subband의 포렌식마크로부터 생성된 홀로그래를 삽입하고 LH band에서 검출한 결과이다. 오른쪽은 2x2 블록패턴이 잘 보이도록 왼쪽의 검출 이미지를 확대한 결과이다. 3개의 subband에서 총 128x3=384bit의 정보



그림 4. 정보 삽입을 위한 블록 패턴

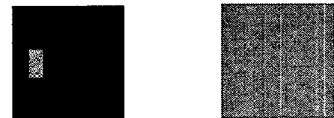


그림 5. 포렌식마크 이미지와 생성된 홀로그래

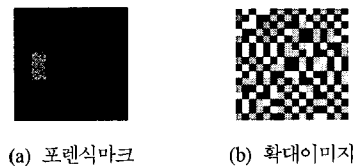


그림 6. LH band에서 검출된 포렌식마크

삽입이 이루어졌으며 PSNR=40.14dB로 나타났다.

그림 7은 1단계에 원본 이미지의 LH band에 128bit정보를 삽입하여 생성된 이미지에 2단계에서 HL band에 128 bit정보를 삽입하여 검출된 결과이다. 왼쪽은 1단계에 삽입된 정보의 검출 결과이고 오른쪽은 2단계에 삽입된 정보의 검출결과이다. 다 단계 삽입에서는 PSNR이 단계별로 4dB 정도씩 감소됨을 알 수 있다.

그림 8은 1단계 2레벨 DWT의 HL band에 삽입에 이어 6단계 1레벨 HH band에 까지 삽입하는 과정에서 PSNR의 변화를 보여준다. 단계수가 증가함에 따라 PSNR은 4~7dB의 범위 내의 감소를 보인다. 모든 단계에서 Alpha=3.5를 유지하였다.

그림 9는 JPEG압축의 Quality Factors에 따른 검출성능을 보여준다. 검출성능은 블록패턴 대각 화소의 최소 값으로 평가한다. 압축이 이루어지는 환경에서는 CV=0.1로 설정하여 그 이상일 경우 검출이 가능하다고 판단한다.

실험에 따르면 상관도 방식으로는 band 당 16bit의 정보만 삽입이 가능하여 삽입용량 측면에서는 제안방식의 1/8 수준인 것으로 나타났다. 표1은 상관도 검출방식과 제안방식의 항목별 비교로 제안방식이 상관도 방식에 비하여 삽입용량, 검출성능, 안전성 등 면에서 우수함을 보여준다.

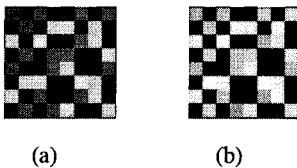


그림 7. (a) 1st step in LH band (b) 2nd step in HL band

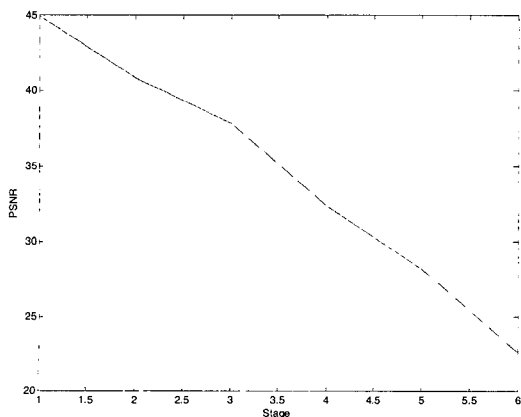


그림 8. 다단계 삽입에 따른 PSNR의 변화

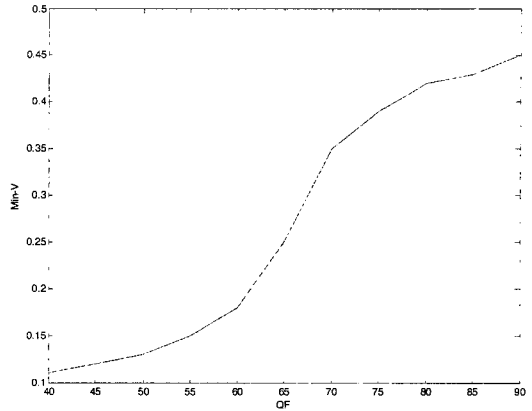


그림 9. JPEG 압축의 QF에 따른 검출성능

표 1. 제안방식과 상관도 방식의 항목별 비교

항 목	제안방식	상관도방식
삽입단위	2x2 블록패턴	32x32 매트릭스
마크형태	홀로그램	랜덤 시퀀스
검출방식	홀로그램 복원	자기상관 기법
삽입용량	384bit	48bit
검출키	384bit(사용),96bit(미)	반드시 키 사용
PSNR	40.14dB	40.80dB
안전성	검출키, 복원키 사용	상대적으로 미흡
압 축	적은 용량 매우 강인	비교적 강인

V. 결 론

본 논문은 불법유통 콘텐츠를 추적하기 위하여 다단계 배포시 포렌식마크를 삽입하고 유통단계에서 포렌식마크 검출을 통하여 유통경로와 배포자를 추적하는 효과적인 방법을 제안하였다. 포렌식마크간의 신호간섭을 줄여 다단계로 삽입하고 검출하기 위하여 DWT 도메인을 선택하였으며 다단계 삽입으로 많은 삽입정보를 필요로 하는 부분을 감안하여 포렌식마크를 비축홀로그램으로 생성하여 삽입하였다. 또 알고리즘의 안전성과 검출성능을 고려하여 SVD 행렬분해 기법을 적용하였다.

실험결과 단계마다 128bit의 정보 삽입이 가능하며 2레벨 DWT의 HL, LH, HH band에 삽입시 3단계에 최대 384bit 정보를 삽입할 수 있다. 홀로그램은 Rotation, Cropping, Scale 등 기하학적 변형에 강인한 특성을 갖고 있다. 향후 추가 정보삽입이 가능한 범위 내에서 공간 도메인에 홀로그램을 추가로 삽입하여 이러한 변형에 강인한 방안을 구현하는 것이 필요하다.

참고문헌

[1] R. Karkarala and P. O. Ogunbona, "Signal Analysis Using a Multiresolution Form of the Singular Value Decomposition," IEEE Transactions on Image Processing, 10(5), pp. 724-735, May 2001.

[2] R. Liu and T. Tan, "A SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership," IEEE Transactions on Multimedia, 4(1), pp.121-128, March 2002.

[3] R. Mehul and R. Priti, "Discrete Wavelet Transform Based Multiple Watermarking Scheme," Proceedings of IEEE Region 10 Technical Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific, Bangalore, India, October 14-17, 2003.

[4] B. Zhou and J. Chen, "A Geometric Distortion Resilient Image Watermarking Algorithm Based on SVD," Chinese Journal of Image and Graphics, Vol.9, pp.506-512, April 2004.

[5] A. Sverdlov, S. Dexter, and A. M. Eskicioglu, "Robust DCT-SVD Domain Image Watermarking for Copyright Protection: Embedding Data in All Frequencies," submitted to Multimedia Computing and Networking 2005 Conference, San Jose, CA, January 16-20, 2005.

[6] Nobukatsu Takai and Yuto Mifune, "Digital watermarking by a holographic technique," APPLIED OPTICS, pp.865-873, Feb. 2002.

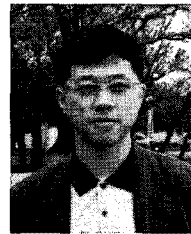
[7] Kyu Tae Kim, JongWeon Kim, Soo Gil Kim and Jong Uk Choi, "Digital Watermarking using Off-axis Hologram", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SP, 41(3), pp. 183-194, May 2004.

[8] D. Gabor, "A New Microscope Principle," Nature, Vol.161, pp.777, 1948.

[9] E. N. Leith and J. Upatnieks, "Reconstructed Wavefronts and Communication Theory," J. Opt. Soc. Am, Vol.52, pp.1377, 1962.

이 덕 (Li De)

정회원



1996년(중) 하얼빈이공대학교 전기공학과(공학사)

2001년 상명대학교 전자계산학과(이학석사)

2000년~2005년 상명대학교 컴퓨터과학과(컴퓨터과학박사)

2006~현재 상명대학교 디지털 저작권보호연구센터 연구교수

2008년~현재 연변대학교 공과대학 컴퓨터과학과 부교수

<관심분야> 디지털워터마킹, 저작권관리기술, 디지털신호처리, 컴퓨터시스템 및 네트워크보안

김 종 원 (JongWeon Kim)

정회원



1989년 서울시립대학교 전자공학과(공학사)

1991년 서울시립대학교 전자공학과(공학석사)

1995년 서울시립대학교 전자공학과(공학박사)

1996~2000년 주성대학 정보통신학과 조교수

2000~2004년 (주)마크애니 부설연구소장

2005~2008년 상명대학교 디지털저작권보호연구센터 연구교수

2009년~현재 상명대학교 저작권보호학과 교수

<관심분야> 디지털워터마킹, 저작권보호 및 관리기술, 디지털신호처리