

연속 블록간의 화소차이 행렬을 이용한 워터마크 알고리즘

Watermark Algorithm Using Difference Matrix between Successive Blocks

박기홍*, 김윤호*

Ki-Hong Park*, Yoon-Ho Kim*

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 기반 화소차이 행렬을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 전처리과정으로 1-레벨 웨이블릿 변환을 수행한 후, 저주파 대역을 제외한 고주파 대역부분의 계수 블록을 정규화하여 웨이블릿 역변환을 거쳐 참조 영상을 만든다. 원 영상과 참조 영상의 인접블럭에 대한 분산을 계산하고 고주파 성분인 원 영상에 미치는 지역적 특성을 고려하여 워터마크를 삽입한다. 실험결과, 제안한 방법이 비가시성이 우수하고 외부공격(잡음첨가, 필터링, JPEG)의 영상처리에 강인함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we proposed a watermarking algorithm by using difference matrix between successive blocks in the transform domain. In the preprocessing, original image is decomposed with 1-level sub-bands by DWT. Then, all sub-bands which are excepted the low-frequency bands are set to normalize and make a reference image after transforming inverse DWT. The statistic variance of successive blocks between the original image and the reference image are calculated and finally, watermark is embedded considering the local characteristic with respect to the high-frequency components. Experimental results showed that the proposed approach is robust and better invisible in such attacks as filtering, JPEG and noise addition

Key words : Watermark, Difference matrix, Successive block, HVS, DWT

I. 서 론

디지털 워터마킹이란 디지털 콘텐츠에 저작권자의 특별한 기호나 로고 등을 은닉하여 저작권과 같은 문제가 발생하였을 때 소유 정보를 추출하여 콘텐츠에 대한 지적재산권을 보호받는 기술이다. 즉, 워터마크의 삽입 여부 및 변조 여부를 측정하여 원신호의 위조나 도용이 이루어졌는지를 검사할 수 있는 저

작권 보호의 방법으로 사용될 수 있다[1]-[4][6].

워터마크의 삽입과정은 식 1과 같이 (x, y) 에 위치한 원 데이터 $I(x, y)$ 와 워터마크 $W(m, n)$ 와의 연산에 의해서 이루어진다. s 가 워터마크의 크기를 조절하는 상수일 때 워터마킹 된 데이터 $I_w(x, y)$ 를 생성할 수 있다.

* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Eng., MOKWON University)

· 교신저자(Corresponding Author) : 김윤호

· 접수일자 : 2008년 5월 16일

$$I_w(x, y) = I(x, y) + sW(m, n) \quad (1)$$

$$I = \{i(x, y) \mid 0 \leq x \leq N_1, 0 \leq y \leq N_2\}$$

$$W = \{w(x, y) \mid 0 \leq x \leq M_1, 0 \leq y \leq M_2\}$$

$$w(x, y) \in \{0, 1\}$$

워터마크를 삽입하는 방법에 따라 데이터를 공간 영역과 주파수 영역에 삽입하는 방법으로 나눌 수 있는데, 본 논문에서는 손실압축(JPEG)이나 필터링과 같은 영상처리를 고려하여 주파수 영역에 워터마크를 삽입하였다 [10][11].

II. 이산 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환(DWT)은 푸리에 변환이나 코사인 변환에 는 없는 공간에 대한 지역적인 특성을 가지고 있어서 주파수 영역에서 특징 분석이 가능하고, 영상에 대하여 다해상도에 대한 독립적인 정보를 제공한다. 또한 공간 영역과 공간 주파수 영역의 두 영역에서 영상을 표시할 수 있기 때문에 주파수 영역의 특성만을 이용하는 기존의 압축 방식에 비해, 저주파 영역에 에너지가 밀집되어 있는 영상의 주파수적 특성을 효과적으로 나타낼 수 있다[3]-[5][7]-[9].

웨이블릿 변환은 그림 1처럼 영상을 주파수 성분에 따라 연차 분할하여 영상의 에너지를 저주파 영역으로 집중시킴으로서 네 개의 부대역 영상으로 구성된다.

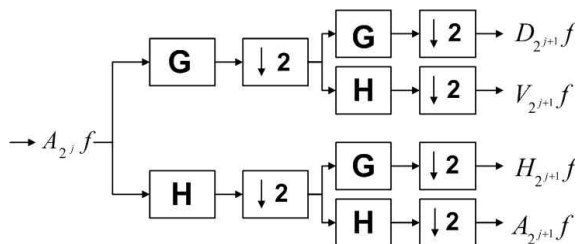


그림 1. 1-레벨 이산웨이블릿 분해과정
Fig. 1. The process of 1-Level discrete wavelet decomposition

각 대역별 정의는 식 2와 같고 공간적으로 방향성을 지닌 주파수 성분으로 분해된다. h 는 분해 저역 통과 필터의 전달 함수이고, g 는 분해 고역 통과 필터의 전달 함수이며 다해상도로 분해된 2차원 신호

의 계수 행렬을 나타낸다.

$$A_{2^{j+1}}f = \sum_k \sum_l h(2m-k) h(2n-l) A_{2^j}f \quad (2)$$

$$H_{2^{j+1}}f = \sum_k \sum_l h(2m-k) g(2n-l) A_{2^j}f$$

$$V_{2^{j+1}}f = \sum_k \sum_l g(2m-k) h(2n-l) A_{2^j}f$$

$$D_{2^{j+1}}f = \sum_k \sum_l g(2m-k) g(2n-l) A_{2^j}f$$

그림 2는 1-레벨 웨이블릿 변환을 수행한 후, 다해상도로 분해된 영상으로, 식 2를 적용한 $A_{2^{j+1}}f$, $H_{2^{j+1}}f$, $D_{2^{j+1}}f$, $V_{2^{j+1}}f$ 를 각각 LL , HL , LH , HH 로 표기한다.



그림 2. 1-레벨 웨이블릿 영상
Fig. 2. 1-Level wavelet image

III. 제안하는 워터마킹 알고리즘

제안하는 워터마킹 알고리즘은 워터마크 생성 및 암호화 단계, 화소 차이 행렬을 이용한 워터마크 삽입 단계, 마지막으로 워터마크 추출단계로 구분한다. 그림 3에서 이러한 과정을 나타내었다.

3-1. 1 단계 : 워터마크 생성 및 랜덤 치환

본 논문에서 사용되는 워터마크 로고 영상(W)은 $\{0,1\}$ 사이에 균등하게 분포되어 있는 $m \times n$ 난수 행렬과 비밀키를 가지고 그림 4와 같이 랜덤 치환

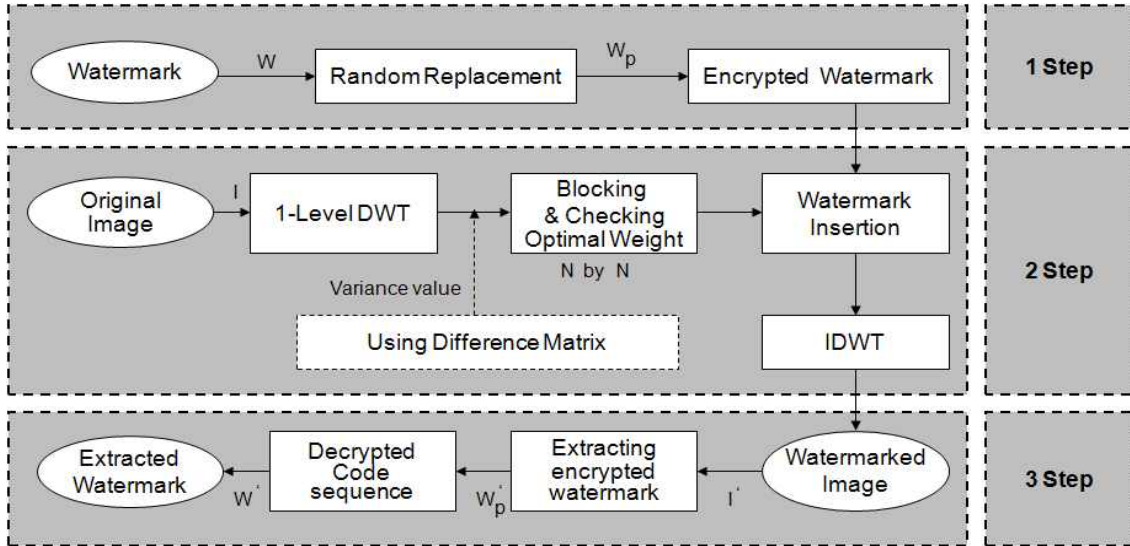


그림 3. 제안한 워터마킹 블록도
Fig. 3. The proposed watermarking block diagram

(W_R)되는데, 이 과정에서 사용된 비밀키는 워터마크 추출 시 사용된다.

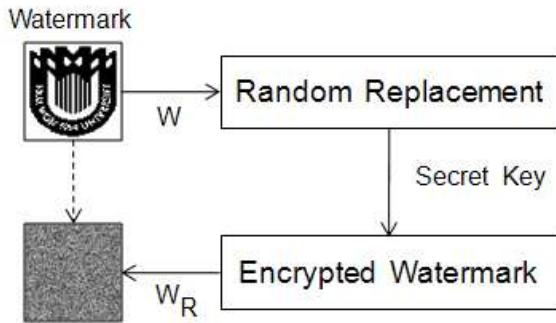


그림 4. 워터마크의 랜덤 치환
Fig. 4. Random transposition of watermark

3-2. 2 단계 : 화소 차이 행렬을 이용한 워터마크 삽입

1-레벨 부대역의 에너지 크기는 상대적으로 상위 레벨 계수값에서도 98% 정도의 확률을 갖고 그대로 유지하므로[5], 전처리 과정으로 1-레벨까지만 웨이블릿 변환하였다. 원 영상(O)을 1-레벨 웨이블릿 변환하여 저주파 대역(LL)을 제외한 고주파 대역(HL, LH, HH)의 주파수 계수를 정규화하고 저주파 대역만을 웨이블릿 역변환을 수행하여 참조 영상(O')을

생성한다.

본 연구에서 화소차이 행렬을 새롭게 정의 하였다. 즉, 원 영상의 웨이블릿 변환 계수와 참조 영상과의 계수차이가 존재하는데, 이것은 영상내 화소간의 계조도 차이에서 기인하는 바, 이러한 화소간의 계조도 차이를 전체 계수블록으로 확대하여 연속블록간의 화소차이 행렬(Difference Matrix between Successive Blocks :DM)이라 정의 하였다. 결국 화소차이 행렬을 생성하면 워터마크를 삽입 할 가중치를 결정할 수 있게 된다. 워터마크의 가중치의 결정은 워터마크의 신호가 삽입되는 과정에서의 비가시성과 강인성간의 Trade-Off[6] 성질을 고려한 것이다. 연속블록간의 화소차이 행렬을 위한 절차는 다음과 같다.

- Loading O : Original Image
- [height width] = size(O)
- [LL, HL, LH, HH] = DWT2(O)
- Zero Coding in (HL, LH, HH) Coefficients
- O' : Inverse DWT2
- DM(Difference-Matrix) : $O - O'$

그림 5에서 테스트영상에 대한 DM의 일부 영역을 보이고 있다. DM에서 0에 가까운 차이는 영상 특성에 상대적인 고주파 대역의 계수값이 0에 가까운 값

을 의미한다. 또한 고주파 대역은 노이즈에 덜 민감하기 때문에 워터마크가 삽입되는 영역이 되고, 대각선 방향인 *HH* 대역은 워터마크의 손실이 쉬우므로 나머지 고주파 대역(*HL*, *LH*)의 논리적 연산을 수행하여 워터마크가 삽입된다.

11	1	4	7	7	3
2	12	8	3	4	6
6	10	2	1	0	1
9	5	0	1	2	0
8	10	1	0	1	0
12	9	1	3	1	0
8	11	2	1	3	1

그림 5. 화소차이 행렬의 예(Barbara 영상)
Fig. 5. Example of DM(Barbara image)

워터마크의 삽입 과정은 다음과 같고, $N \times N$ 블록으로 나눈 다음 각 블록의 계수 값들의 분포가 평균을 중심으로 얼마나 넓게 퍼져있는지의 분산값(식 3)을 구한다.

- DM : $O - O'$
- Calculate an operation for embedding
 - $N \times N$ Blocking in DM : $B_{(i,j)}$
 - Compute Variance : $B_{(i,j)}^{\sigma^2}$
- $iB_{(i,j)}^{\sigma^2}$ Indexing descending power about $B_{(i,j)}^{\sigma^2}$

$$\mu = \left(\sum_{i,j=1}^n X_{i,j} \right) / N \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \left(\sum (X_{i,j} - \mu)^2 \right) / N$$

계산된 블록별 $B_{(i,j)}^{\sigma^2}$ 의 값들을 내림차순하여 인덱스($iB_{(i,j)}^{\sigma^2}$)를 부여하고, 이것은 워터마크의 1의 수만큼 $iB_{(i,j)}^{\sigma^2}$ 에 가중치를 적용하기 위함이다.

$W_R(i, j)$ 의 사이즈는 $(i \times j)$ 이고, $W_R(i, j)$ 은 0과 1의 바이너리 영상이다. $W_R(i, j)$ 이 1인 경우의 픽셀 수를 CV_1 이라고 하면, $iB_{(i,j)}^{\sigma^2}$ 의 CV_1 만큼의 식 4를 적용하여 워터마킹이 수행된다.

- Counting value of $W_R(i, j) = \{0, 1\}$
 - CV_1 : Count value of ($W_R(i, j) = 1$)
 - CV_0 : Count value of ($W_R(i, j) = 0$)

식 4에 의해 워터마킹이 수행되고, $C'(x, y)$ 는 워터마크 삽입에 의해 변경된 웨이블릿 계수이다. α 는 $W_R(i, j)$ 값에 따른 워터마크가 삽입되는 가중치이고, $W_R(i, j)$ 가 1일 때 α 는 1.5을 갖는다.

$$C'(x, y) = C(x, y) \times \alpha \quad (4)$$

$$\text{if } W_R(i, j) = 1, \alpha = 1.5$$

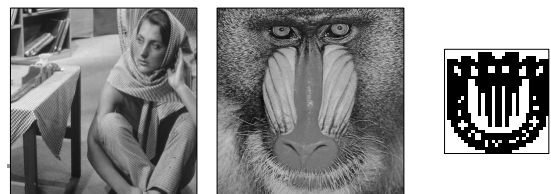
$$\text{if } W_R(i, j) = 0, \alpha = -1.5$$

3-3. 3 단계 : 워터마크 추출

워터마크의 추출과정은 워터마크의 삽입의 역과정을 통해 이루어진다. 원영상에 워터마크가 삽입되는 과정에서의 사용되었던 비밀키를 이용하여 워터마크 시퀀스(0,1)를 리페딩하는 방법으로 워터마크를 추출한다.

IV. 실험 및 성능평가

실험 영상은 512x512 크기의 그레이 레벨 표준 영상인 Barbara, Barboon 영상을 사용하였고, 삽입할 워터마크 정보는 32x32 크기의 시각적으로 확인 가능한 이진 로고 영상을 제작하여 실험하였다. 그림 6은 각각 본 연구에서 사용한 실험 영상 및 워터마크 영상을 나타낸다.



(a) Barbara (b) Barboon (c) Watermark

그림 6. 실험 영상

Fig. 6. Experimental Images

제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 Kim의 방법 [9]과 비교하였다. Kim은 HVS(Human Visual System)

과 FIS(Fuzzy Inference System)을 이용하여 주파수 계수값의 적절한 삽입영역을 선택하여 워터마킹 하는 방법을 제안하였다.

비가시성에 대한 성능평가 지수로는 워터마크를 삽입한 영상의 무감지성과 비가시성을 연구자의 시각적인 판단과 PSNR(Peak Signal to Noise Error)을 산출하여 실험하였다[7][8]. 식 5는 PSNR의 정의식으로 분자단은 8비트 화소인 화상의 경우에 원화상의 최대 전력값 255를 갖는 신호를 나타낸다. 분모 단은 잡음을 표현한 식으로 복호화상과 원화상의 차이를 이용한다. a 는 원영상이고 b 는 복호된 영상이다. (x, y) 는 픽셀의 조합을 나타낸다.

$$PSNR(a, b) = 10 \log_{10} (255^2 / K) \text{ [dB]} \quad (5)$$

$$K = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2$$

PSNR은 원 신호와 잡음신호의 비로서 값이 클수록 신호의 왜곡이 작다는 것을 의미하는데 일반적으로 35[dB] 이상이면 시각적인 화질 열화를 느낄 수가 없다. 그림 7의 (a)와 (b)는 워터마크가 삽입된 영상으로 워터마크의 존재가 시각적으로 나타나지 않았고, (a)와 (b)의 PSNR이 각각 41.26[dB], 38.25[dB]로 비가시성이 우수함을 알 수 있다.



(a) Barbara (b) Barboon

그림 7. 워터마킹된 영상
Fig. 7. Embedded images

견고성에 대한 실험으로 영상처리 방법 중, 워터마크가 삽입 된 영상에 무선 전송 채널에서의 잡음 첨가, 저주파&고주파 필터링, JPEG 압축 등의 인위적인 공격을 가한 후, 추출된 워터마크와 본래의 워터마크 영상에 대한 상관도를 측정하여 성능평가 지수로 삼았다. 식 6에서 보여주듯이 본래의 워터마크

(a)와 추출된 워터마크(b)의 상관도를 측정하여 견고성을 평가하였다. 여기서 \bar{a} 와 \bar{b} 는 본래의 워터마크와 추출된 워터마크 행렬의 평균치를 나타낸다.

$$Corr. = \frac{B}{\sqrt{A}} \quad (6)$$

$$A = \sum_M \sum_N (a_{MN} - \bar{a})(b_{MN} - \bar{b})$$

$$B = \sum_M \sum_N (a_{MN} - \bar{a})^2 \sum_M \sum_N (b_{MN} - \bar{b})^2$$

워터마킹된 영상에 잡음 첨가는 통신상의 문제나, 고의적인 영상변형 등의 다양한 형태로 발생할 수 있는 문제로서, 무선전송 채널 상에서의 각 영상에 대하여 snr 값의 변화에 따라 가우시안 잡음을 첨가하였다. 표 1과 같이 워터마크 추출 시, 'snr=3'까지 90% 이상의 상관도를 보이고 있다. 제안한 알고리즘이 Kim의 방법보다 1~3[dB] 이상의 좋은 상관도를 보인다.

표 1. AWGN 잡음 첨가에 대한 워터마크 상관도
Table 1. Watermark Correlation for noise addition

SNR	성능	Proposed		Kim's Method[8]	
		Barbara	Barboon	Barbara	Barboon
		Corr.(%)	Corr.(%)	Corr.(%)	Corr.(%)
snr = 9		99	96	99	98
snr = 7		98	96	99	96
snr = 5		95	94	95	93
snr = 3		91	89	88	85
snr = 1		84	81	81	80

저주파 필터링은 화소값의 변화율이 낮은 저주파 성분을 통과시키는 고주파 차단 필터링인 블러링(Blurring)을 하였고, 고주파 필터링은 영상의 세세한 정보를 강조하기 위해 Sharpening 공격을 하였다. 표 2에서 제안한 방법이 4~8% 높은 상관도를 보인다. 저주파 필터링은 70% 이상, 고주파 필터링의 경우 80% 이상의 상관도로 워터마크를 추출할 수 있었다.

표 2. 필터링 공격에 대한 워터마크 상관도
Table 2. Watermark Correlation for filtering attack

필터링 성능	Proposed		Kim's Method[7]	
	Barbara	Barboon	Barbara	Barboon
	Corr.(%)	Corr.(%)	Corr.(%)	Corr.(%)
저주파	79	72	73	68
고주파	88	83	79	78

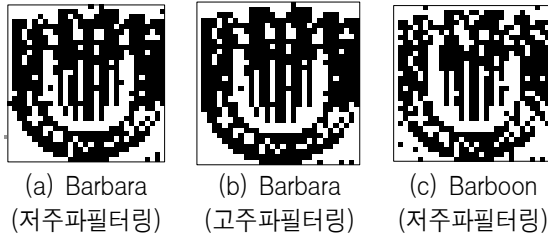


그림 8. 필터링 공격 후 추출된 워터마크
Fig. 8. Extracted watermark (Filtering attack)

또한 워터마킹된 영상을 JPEG 압축을 수행하여, 10%~90% 압축비율에 따라 워터마크를 검출하였다. 그림 9는 압축된 영상으로부터 워터마크를 추출하여 원래의 워터마크와의 상관그래프이다. 추출된 워터마크의 상관도가 압축비율 50% 까지, 80%의 상관도를 보이고, 제안한 방법이 1~5% 높은 상관도를 보이고 있다.

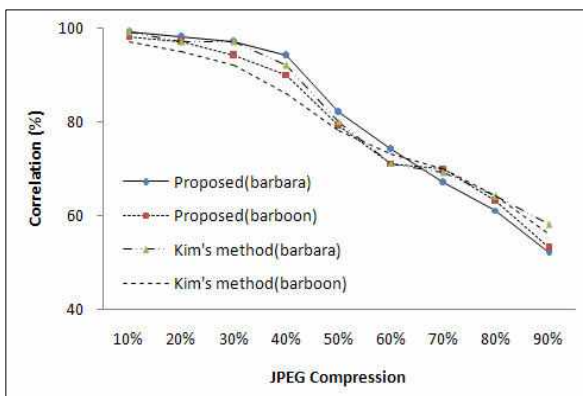


그림 9. JPEG 압축에 대한 워터마크 상관도
Fig. 9. Watermark correlation (JPEG Compression)

V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 기반 화소차이 행렬을 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 원 영상을 1-

레벨 웨이블릿 변환을 수행한 후, 저주파 대역을 제외한 고주파 대역을 삭제하고 웨이블릿 역변환을 거쳐 자기참조 영상을 만든다. 원 영상과 자기참조 영상의 화소차이를 블록별 분산을 계산하여 고주파 성분이 원 영상에 미치는 지역적 특성을 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 제안된 알고리즘으로 생성된 워터마킹된 영상에 잡음첨가, 필터링(블러링, 샤프닝), JPEG 압축과 같은 다양한 신호왜곡에 견고하고, 시각적으로 워터마크 추출여부를 확인 할 수 있었다. 향후, 영상마다 다른 특성을 갖듯이 다양한 영상 특성에 대해 분석하고, 영상별 맞춤형 워터마킹 기술을 연구한다.

참 고 문 헌

- [1] K. Tana ka, Y. Nakamura, and K. Matsui, "Embedding Secret Information into a Dithered Multi-level Image", *In Proceedings of the 1990 IEEE Military Communications Conference*, pp. 216~220, 1990.
- [2] Fibien A.P. and Peticolas, "Watermarking schemes Evaluation", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 58-64, September, 2000.
- [3] Reddy A. A., and Chatterji, B.N., "A new wavelet based logo-watermarking scheme", *Pattern Recognition Letter*, 26, pp. 1019-1027, 2005
- [4] 송학현, 김윤희, "An Adaptive Digital Watermarking using DWT and FIS," *디지털콘텐츠학회 논문지*, Vol. 5, No. 2, 2004.
- [5] S.K. Peak and L.S. Kim, "A Real-Time Wavelet Vector Quantization Algorithm and Its VLSI Architecture", *IEEE Trans.on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 10, No. 3, April 2000.
- [6] Seitz, J., "Digital Watermarking for Digital Media", *Information Science Publishing*, 2005.
- [7] 김태곤, 김윤희, "강건한 워터마킹을 위한 최적 부대역 결정", *한국정보기술학회 논문지*, Vol. 11, No. 1, 2007.
- [8] King N. Ngan, Chi W. Yap, and Keng T. Tan, "Video Coding for Wireless Communication Systems", *Marcel Dekker*, 2001.

[9] Y.H. Kim, "Incorporating Fuzzy Inference into Watermarking in the Transform Domain", Marcel Dekker, *한국향행학회 논문지*, Vol. 10, No. 4, 2006.

[10] Y.R. HOVANCAK, D. LEVICKY, "Digital Image Watermarking in Color Models Using DCT Transformation", *Radioengineering*, Vol. 13, No. 1, April 2004.

[11] Mauro Barni, F. Bartolini, "Watermarking Systems Engineering" - *Enabling Digital Assets Security and Other Applications*-, Marcel Dekker, Inc. 2004.

박 기 홍 (朴起弘)



2004년 2월 : 목원대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2006년 2월 : 목원대학교 공학석사
 2006년 8월~현재 : 목원대학교 IT공학부 박사과정
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전

김 윤 호 (金允鎬)



1986년 : 경희대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1992년 : 청주대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 2005년 ~ 2006년 : Univ. of Auckland. NZ. Dept. of Computer Science, CITR Lab. Research Fellow.

1992년 ~ 현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수, 멀티미디어기술사.
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지응용, 정보통신정책 등