

# HVS 기반 주파수 공간에서의 적응적인 워터마킹

## Human Visual System Based Adaptive Watermarking in Frequency Domain

박기홍\*, 윤병민\*, 김윤호\*\*

Ki-Hong Park\*, Byung-Min Yoon\* and Yoon-Ho Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서 제안한 방법은 웨이블릿 변환을 사용하여 디지털 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후 워터마킹 하는 알고리즘을 제안한다. 비가시성을 고려하여 고주파 영역을 국부 블록으로 나누어 각 블록의 대조 감도와 텍스처 감도를 계산하고, 각 계수블록에 워터마크를 삽입 시 블록 특성에 따라 가중치를 달리 하였다. 실험결과, 인간의 시각 시스템을 적용하여 워터마크를 삽입함으로써 워터마크의 강인함과 비가시성을 향상시켰다.

### Abstract

In this paper, we proposed watermarking algorithm based on wavelet transform. Discrete wavelet transform is involved to calculate additive energy strength. Considering imperceptibility, after computing contrast and texture sensitivity in gray-level image, we inserted watermark with variable weight due to the feature of coefficient block. Consequently, applying human visual system, the experimental results showed that the proposed algorithm satisfied the properties of robustness and imperceptibility that are the major conditions of watermarking.

Key words : Watermarking, DWT, HVS

### I. 서 론

디지털 콘텐츠는 편집, 전송 및 저장에 있어 편리한 장점을 가지고 있는 반면, 저작권 침해와 불법복제 및 배포 등과 같은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점들을 극복하기 위한 방안으로 방화벽과 암호화 방법이 디지털 콘텐츠를 불법사용자로부터 접근을 제어하고 저작권을 보호해주는 방법으로 이용되어지고 있으며, 최근 들어 디지털 워터마킹 기술이 소유권 주장을 위한 해결책으로 연구되고 있다

### [1],[2].

본 논문에서는 디지털 이미지 데이터에 대하여 워터마킹 기술을 설명하고, 디지털 이미지 데이터의 불법조작을 막고 고의적이거나 비고의적인 손상에도 이미지 데이터 내에 숨겨진 정보를 추출하여 소유권을 입증할 수 있는 방법을 설명한다. 원 영상을 웨이블릿 변환을 통해 워터마크를 삽입하였고, 삽입되어질 워터마크 정보의 비가시성과 강인성간의 상충 관계를 개선시키기 위하여 워터마크가 삽입되어질 영역에 부분 영역 가중치의 적용과 인간 시각 특성에

\* 목원대학교 IT공학부(Department of IT Engineering, Mokwon University)

\*\* 목원대학교 컴퓨터공학부 교수 (Professor, Department of Computer Science, Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 박기홍

· 접수일자 : 2005년 11월 28일

적응적인 워터마킹 방법이다.

## II. 디지털 워터마킹

그림 1은 워터마크 삽입과정과 추출과정을 일반적으로 나타내고 있다. 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 워터마크된 데이터  $I_w(x, y)$ 를 생성할 수 있다.

$$I_w(x, y) = I(x, y) + sW(m, n) \tag{1}$$

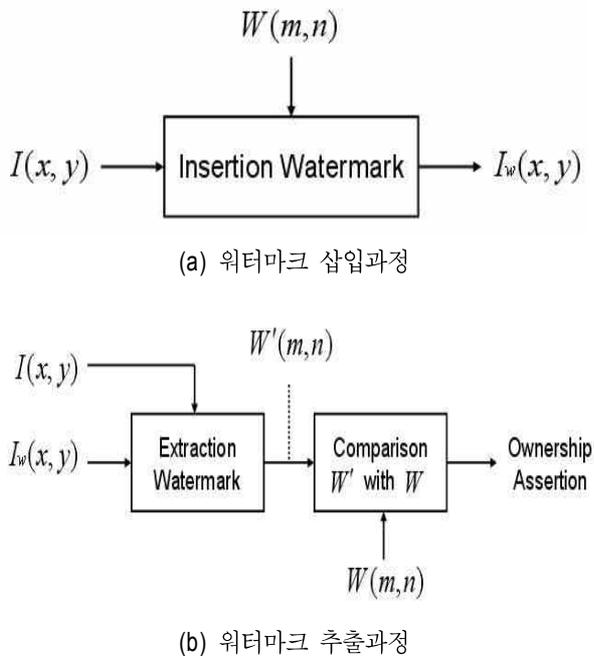


그림 1. 워터마킹의 기본 원리  
Fig. 1. General watermarking system.

디지털 워터마킹 기법들은 일반적으로 저작권이 보호되는 영상을 사용자가 구입하여 여러 가지 데이터 처리를 하여 자신의 목적에 맞게 사용하기 때문에, 사용 목적에 따라 서로 다른 요구조건들을 가지고 있다 [3]-[6]. 디지털 워터마킹은 불법적인 복제나 배포로부터 소유권을 증명할 수 있고, 워터마크를 제거하려는 공격 등으로부터 그 기능을 효과적으로 발휘할

수 있어야 한다.

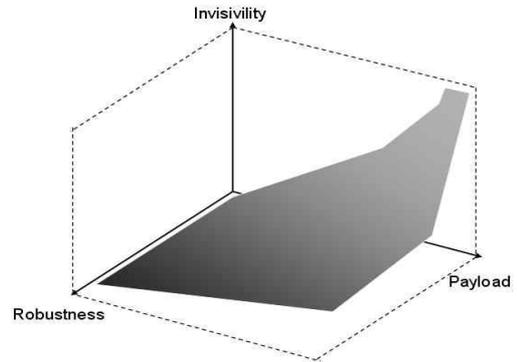


그림 2. 워터마킹 조건간의 상충관계  
Fig. 2. Watermarking trade-off relationship.

그림 2는 워터마킹 기술에 있어 기본적인 조건들간의 서로 밀접한 관계를 나타낸다. 다양한 형태로 신호가 왜곡되어도 워터마크를 추출할 수 있도록 워터마크의 강인성을 강조하여 워터마크를 삽입하게 되면 삽입된 워터마크가 인지되며 그만큼 워터마크가 삽입된 영상의 화질은 원 영상에 비해 나빠지게 된다. 또한 워터마크로 삽입될 데이터의 양이 많아지게 되면 역시 그만큼 영상의 화질이 손상된다. 워터마크 시스템을 설계할 때 각 조건들의 상관관계를 고려해 주어야 한다.

## III. 웨이블릿 변환과 시각 시스템

웨이블릿 변환은 주어진 영상 전체를 대상으로 주파수 변환을 수행함으로써 블록효과를 제거할 수 있을 뿐 아니라 영상처리에 있어서 공간영역정보와 주파수영역정보를 모두 사용할 수 있어 더욱 효과적인 처리가 가능하다. 인간의 시각 구조는 다중해상도 특성을 지니고 있으며 영상처리를 위한 응용방법으로 이와 유사한 특성을 지니고 있는 것이 바로 이산 웨이블릿 변환(DWT : Discrete Wavelet Transform) 방법이다. 웨이블릿 변환은 푸리에 변환이나 DCT(Discrete Cosine Transform)에는 없는 공간에 대한 지역적인 특성을 가지고 있어서 주파수 영역에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. DWT 수행 방법은 식 2와 식 3에 나타낸 것과 같이 저대역-통과필터( $h(n)$ )와 고대역

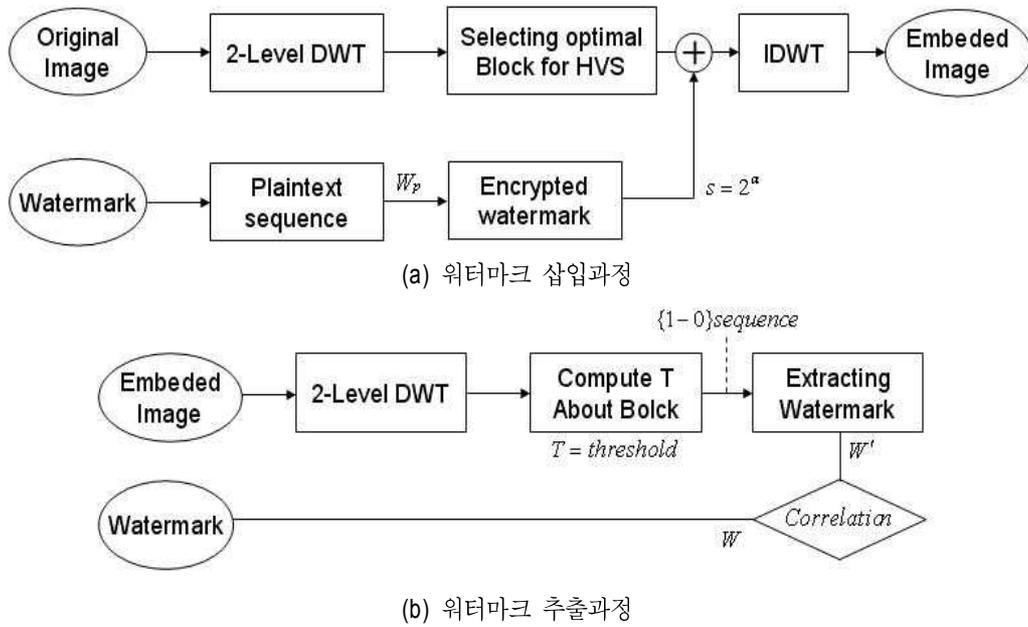


그림 3. 워터마킹 블록도  
Fig. 3. Block diagram of watermarking.

-통과 필터( $g(n)$ )를 이용하여 영상을 고주파성분과 저주파성분으로 각각 필터링한다.

$$y_{low} = \sum_{N=0}^{N-1} x(2k-n)h(n) \tag{2}$$

$$y_{high} = \sum_{N=0}^{N-1} x(2k-n)g(n) \tag{3}$$

표 1. 인간 시각 시스템의 특성 변수  
Table 1. Parameters of HVS.

Luminance sensitivity	일정한 배경에서의 신호 감지 능력
Texture sensitivity	정현신호의 지각 능력
Contrast sensitivity	화소 밝기의 차이
Entropy sensitivity	사건발생을 고려한 정보의 수치적 기대값

원 영상에 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않으면서 보다 강한 워터마크를 삽입하기 위해서는 워터마크 삽입 시 사용되는 워터마크의 강도가 인간

시각에 미치는 영향을 고려해야 한다. 인간의 시각은 고주파 대역과 대각선 방향의 노이즈에 덜 민감하고, 고주파가 집중되어 있는 텍스처 영역에서의 노이즈에 덜 민감한 가설을 이용하였다. 인간 시각의 특성 모델로 표 1과 같은 특징들이 중요한 변수로 사용된다 [7],[8].

본 논문에서는 그레이 레벨의 명도를 산출할 수 있는 대비도 함수와 주어진 영역의 텍스처 분포 특성을 이용하여 워터마킹의 파라미터로 사용한다. 식 4와 식 5에서 대조 감도와 텍스처 감도식을 정의하였다.

$$CS = A / B \tag{4}$$

$$A = B_{max} - B_{min}, B = B_{max} + B_{min}$$

$B_{max}$  와  $B_{min}$  은 설정된 영역에 대한 명암도의 최대값과 최소값이다.

$$T(B_k) = \frac{1}{n \times m} \sum_{(i,j) \in B_k} (1/E_k)^a \frac{|x(i,j) - E_k|}{E_k} \tag{5}$$

여기서  $E_k$ 는 각 블록영역의 평균 그레이 값이고,  $(1/E_k)^\alpha$ 는 가중치 계수이다.  $\alpha$ 는 상수로서 0.6~0.7이다.  $T(B_k)$ 값이 적으면 블록  $B_k$ 가 스무드한 영상이고 이 값이 크면 텍스처나 에지가 많이 포함된 영상을 의미한다.

#### IV. 제안한 워터마킹 알고리즘

영상에 워터마크를 삽입하는데 있어서 가장 중요하게 고려해야 하는 부분은 비가시성과 견고성 및 데이터의 양에 대한 문제이다. 그림 3은 제안한 워터마킹 알고리즘의 블록도로 원 영상에 워터마크를 삽입하는 과정과 추출하는 과정을 보여주고 있다.

그림 4는 2-Level DWT 계수들에 대한 상관도, 부대역간 계수들의 트리구조를 나타낸다. 각 부대역에서 트리의 하위레벨 계수값의 상대적인 크기는 상위레벨 계수 값에서도 98% 정도의 확률을 갖고 그대로 유지한다. 워터마크로 사용될 이진 로고 영상을 비밀키를 사용하여 PN-sequence를 생성하여 워터마크를 암호화 시킨다. 암호화된 워터마크  $W(x, y)$ 를 하나의 정방형 블록으로 만든 후, 원 영상의 특정한 영역에 삽입된다. 영상의 대부분의 정보를 가지고 있는 저주파 성분인 LL2 대역에 워터마크를 삽입하게 되면 영상의 왜곡정도가 심하게 나타날 수 있고, HH2 대역에 삽입하게 되면 워터마크 데이터가 쉽게 삭제될 수 있다. 따라서 인간 시각에 덜 민감한 영역에 워터마크를 삽입하여 신호의 가시성을 줄이고, 인간 시각으로 감지되지 않는 블록으로 HL2 영역과 LH2 영역에 워터마크를 삽입한다. 워터마크가 삽입되어질 HL2 영역과 LH2 영역을 n by n 영역으로 블록킹하여 대조 감도와 텍스처 감도를 계산하고, 각 블록에 대한 가중치를 부여한다.

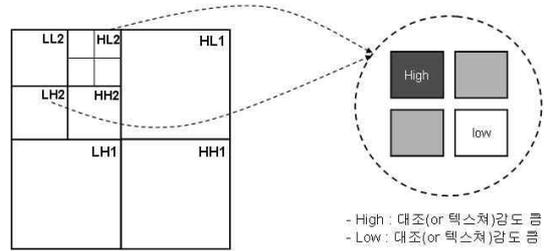


그림 4. n by n 영역의 HVS 파라미터 계산  
Fig. 4. Computing parameters of HVS about n by n.

표 2는 비가시성과 견고성 및 데이터의 양에 대한 관계를 표현하기 위한 것으로 본 논문에서 사용한 실험영상을 사용하여 HL2 영역과 LH2 영역 전체에 가중치에 따른 영상의 열화정도와 워터마크 추출시 상관도를 나타내었다. 워터마크의 가중치를  $2^{-0.2}$ 로 하였을 때 영상의 열화가 없지만, 워터마크의 추출 시에는 상관도가 23.29%로 아주 낮았다. 반대로  $2^1$ 의 가중치를 가지고 삽입 시에는 원 영상과 임베디드된 영상의 상관도가 90.43%로 육안으로 확인이 가능하였다. 따라서 각 블록에 대한 가중치는 -1과 1의 범위 안에서 워터마크 데이터의  $2^\alpha$ 의 스케일 변화를 갖는다. 대조 감도와 텍스처 감도가 큰 블록에는  $\alpha$ 값으로 1로 주었고, 작은 블록에는 0.1을 적용하였다. 그 외의 중간 영역에는 가중치로  $2^{-1.4}$ 을 선택하였다.

표 2. 비가시성을 위한 가중치 분석  
Table 2. Analysis variable weight for imperceptibility.

$\alpha$	Barboon Image		
	Embeded Image		Extracted Watermark
	PSNR[dB]	Corr.(%)	Corr.(%)
-0.2	48.06	99.97	23.29
-1.4	32.66	98.66	90.99
1	23.58	90.43	99.20

워터마크의 추출과정은 삽입과정과 같은 방법으로 워터마크가 삽입된 영상을 2-레벨 웨이블릿 분해를 하고 워터마크 삽입과정에서 사용한 가중치를 이용해 임계값을 비교하여 워터마크를 추출해낸다. 위

터마크 추출 시 임계값보다 크면 '0', 그렇지 않으면 '1'로 리패딩하여 워터마크를 추출한다.

V. 실험결과

본 논문에서 제시한 워터마킹 알고리즘은 Pentium IV 2.4G의 시스템에서 Matlab6.5를 사용하여 구현하였다. 실험영상은 256×256 크기의 표준 그레이 영상 Barboon 이미지를 사용하였고, 삽입할 워터마크 정보는 32×32 크기의 시각적으로 인지가 가능한 특정 로고 형태의 이진영상을 사용하였다. 그림 5는 원영상과 워터마크 이미지이다.

제안된 워터마킹 알고리즘에 대한 평가를 위해 워터마크 삽입 후의 비가시성과 압축률 변화, 잡음첨가 시 비가시성에 대한 평가로는 PSNR을 측정하여 사용하였으며 식 6과 식 7은 각각 PSNR 및 상관도식이다[9].

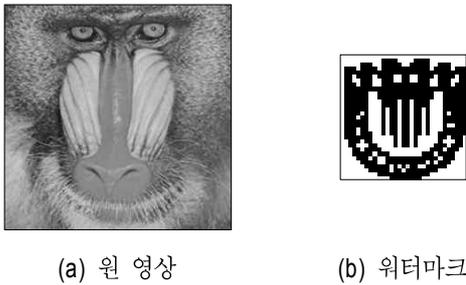


그림 5. 실험 영상  
Fig. 5. Experimental Images.

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

(6)

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

$$Corr. = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2}}$$

(7)

견고성에 대한 평가로 제안한 방법과 Xia의 방법을 비교하였다 [10]. 워터마킹된 영상을 통신 선로상에서 전송하였을 때, 전송로에서 발생할 수 있는

AWGN 잡음을 고려하여 SNR에 따른 워터마크를 검출하였다. SNR 값이 2[dB]인 경우 70% 이상의 상관도를 검출하였고, 이에 비해 Xia의 방법의 경우 70%에 미치지 못하는 상관도를 보이고 있다. 그림 6은 SNR 값이 6[dB]인 경우의 워터마킹된 영상과 추출된 워터마크를 보이고 있다.

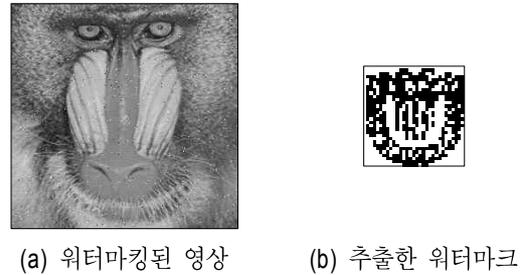


그림 6. 잡음첨가된 영상(SNR=6)과 추출된 워터마크  
Fig. 6. Embedded Image with noise(SNR=6) and extracted watermark.

부분삭제에 대한 추출된 워터마크의 상관도 측정에 있어 이미지를 1/16, 1/4, 1/2, 그리고 외각 영역을 부분적으로 삭제한 후 '0'을 대체 삽입하여 실험하였다. 제안한 방법의 경우 추출된 워터마크는 평균적으로 80% 정도의 높은 상관도를 보였다. 그림 7은 외각 삭제된 영상과 추출된 워터마크이다.

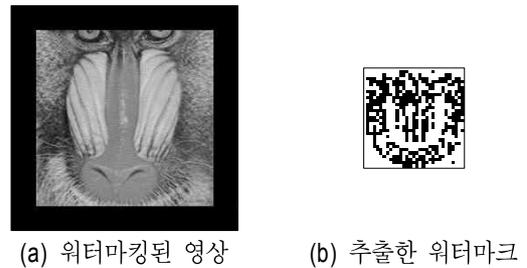


그림 7. 외각삭제된 영상과 추출된 워터마크  
Fig. 7. Cropping and extracted watermark.

표 3은 외부공격에 대한 추출된 워터마크의 상관도를 나타내고 있다.

표 3. 외부공격에 대한 추출된 워터마크의 상관도  
Table 3. Correlation of extracted Watermark.

		제안한 방법	Xia의 방법
		Correlation(%)	Correlation(%)
	No Attack	98	96
잡음 첨가	8 [dB]	95	93
	6 [dB]	90	88
	4 [dB]	82	71
	2 [dB]	71	60
	0 [dB]	41	42
부분 삭제	1/16 삭제	97	93
	1/4 삭제	93	91
	1/2 삭제(좌)	94	85
	1/2 삭제(상)	87	85
	외각삭제	74	84
JPEG 압축	20 %	94	89
	40 %	91	85
	60 %	79	78
	80 %	49	45

### VI. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 주파수 영역에서 영상의 내용과 인간 시각 특성에 부합되는 적응적이고 화질의 열화가 적은 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 영상을 2-레벨 DWT를 수행한 후, 인간 시각에 덜 민감한 영역에 워터마크를 삽입하여 신호의 가시성을 줄이고, 인간 시각으로 감지되지 않는 블록으로 HL2 영역과 LH2 영역에 워터마크를 삽입하였다. 또한 비가시성을 고려하여 HL2 영역과 LH2 영역을 블록킹하여 대조감과 텍스처 감도를 계산하고, 각 블록에 워터마크를 삽입 시 블록 특성에 따라 가중치를 달리하였다. 이로써 시각적인 영상의 왜곡을 줄이고 동시에 워터마크 추출 시 견고성을 높임으로써, 보다 안전한 디지털 콘텐츠 보호에 중점을 두었다. 실험 결과, 잡음첨가, 영상압축 등 외부공격에 대하여 Xia의 방법에 비해 2~5% 정도의 성능이 향상되었다. 향후 디지털 방송시대인 만큼 동영상 매체에 대한 소유권 분쟁을 대비한 기술도 계속적으로 연구되어야 하고, 워터마킹의 성능을 객관적으로 비교할 수 있는 기준을 마련하기 위한 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업

에 연구결과로 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Fridrich, "Security of Fragile Authentication Watermarks with Localization," submitted to the 4<sup>th</sup> Information Hiding Workshop, Pittsburgh, Pennsylvania, April 2001.
- [2] T. Furon and P. Duhamel, "An unified approach of asymmetric watermarking schemes," in Proc. of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 4314, pp. 269-279, San Jose, USA, Jan. 2001.
- [3] I.J. Cox, J. L. Kilian, T. Leighton and T. Shamon, "Secure, Robust Watermark for Multimedia," Workshop on Information Hiding, Newton institute, Univ. of Cambridge, 1996.
- [4] W. Bender et al., "Techniques for Data Hiding," IBM System Journal. vol. 35, pp.313-336, 1996.
- [5] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden digital watermarks in images," IEEE Trans. International Conference on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, 1999.
- [6] S.K. Peak and L.S. Kim, "A Real-Time Wavelet Vector Quantization Algorithm and Its VLSI Architecture," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Tecnology, vol. 10, no. 3, April 2000.
- [7] 송학현, 김윤호, "퍼지추론을 이용한 계수조절 워터마킹 기법," 한국해양정보통신학회 논문지, vol. 8 no .8, 2004.
- [8] 송학현, 김윤호, "An Adaptive Digital Watermarking using DWT and FIS," 디지털콘텐츠학회 논문지, vol. 5, no. 2, 2004.
- [9] King N. Ngan, Chi W. Yap, and Keng T. Tan, "Video Coding for Wireless Communication System," Marcel Dekker, 2002.
- [10] X. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Image,"

Proc. IEEE ICIP, vol. 3, pp. 548-551, 1997.

### 박 기 흥 (朴起弘)



2004년 2월 : 목원대학교 컴퓨터공  
학과(공학사)

2004년 2월~현재 : 목원대학교 IT  
공학부 석사과정

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전

### 윤 병 민 (尹炳旻)

1982년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학사)

2002년 2월 : 목원대학교 컴퓨터교육학과(공학석사)

2003년 2월~현재 : 목원대학교 IT 공학부 박사과정

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전

### 김 윤 호 (金允鎬)

2003~현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수

University of Auckland, NZ 연구교수

IEEE, 대한전자공학회, 한국통신학회 정회원/ 한국디지  
털컨텐츠학회, 한국해양정보통신학회, 한국항행학회  
중심회원 / 멀티미디어 기술사.

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지, IT 정책 등