

# 기하학적인 변형에 강건한 워터마킹 기법과 디지털 영상의 인증

이 나 영<sup>†</sup> · 김 원<sup>††</sup> · 김 계 영<sup>†††</sup> · 최 형 일<sup>††††</sup>

## 요 약

디지털 영상의 저작권 보호를 위한 기존의 워터마킹 기법들은 기하학적인 왜곡에 약하며 인위적으로 변형되었는지 여부를 검출하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기하학적인 왜곡에 강건한 워터마킹 기법과 디지털 영상의 무결성을 검사하는 인증 기법을 제안한다. 워터마킹 기법에서는 원 영상을 콤플렉스 웨이블릿 변환하여 위상 성분에 워터마크를 삽입하며 워터마크가 삽입된 영상으로부터 점진적으로 워터마크를 추출한다. 추출된 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교하여 임계값보다 크면 해당 워터마크의 소유자는 영상에 대한 저작권을 주장할 수 있다. 디지털 영상의 인증 기법에서는 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)을 이용하여 워터마크가 삽입된 영상의 인증 코드를 생성한다. 생성된 인증 코드와 배포된 영상의 인증 코드를 비교하여 임계값보다 크면 인위적인 조작이 없다고 간주한다. 성능평가를 통하여 본 논문에서 제안한 저작권 보호 방법이 기하학적인 왜곡에 강건하였으며 워터마크된 영상이 인위적으로 변형되었는지 여부를 알 수 있었다.

## Robust watermarking technique in geometric distortion and authentication of digital images

Na-Young Lee<sup>†</sup> · Won Kim<sup>††</sup> · Gye-Young Kim<sup>†††</sup> · Hyung-II Choi<sup>††††</sup>

## ABSTRACT

The existing watermarking techniques for copyright protection of a digital image are fragile in geometric distortion and it is hard to detect whether it was manipulated artificially. In this paper, we proposed the new copyright protection system that can authorize a digital image and can embed or extract a robust watermark in a artificial manipulation in order to solve these problems. In a watermarking part, the proposed watermarking technique embeds a watermark in a phase component after a Complex Wavelet Transform (CWT) with an original image, and a watermark is extracted from an watermarked image by stages. A copyright about an image can be insisted on than a threshold after comparing a correlation of an original watermark with an extracted watermark if large. In an authentication part of a digital image, EZW (Embedded Zerotree Wavelet) is used, and an authentication cord of an watermarked image is generated. An authentication code of an image to have been distribute to is compared with a generated authentication cord, and artificial operation isn't than a threshold if large. The proposed copyright protection system through performance evaluation display that it was robust in geometric distortion and a artificial operation was able to be detected.

키워드 : 저작권(Copyright Protection), 디지털 워터마킹(Digital Watermarking Technique), 콤플렉스 웨이블릿 변환(Complex Wavelet Transform), 기하학적 변형(Geometric Distortion), 인증(Authentication)

### 1. 서 론

정보통신과 멀티미디어 기술의 발전으로 컴퓨터 네트워크를 이용한 디지털화된 멀티미디어 데이터의 전송이 용이하며 그 수요 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 그와 함께

불법 복제물의 유통도 증가함에 따라 저작권 문제가 크게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 가장 많이 주목받는 것이 디지털 워터마크 기술이다. 디지털 워터마킹이란 멀티미디어 콘텐츠에 저작자의 서명이나 저작자임을 입증할 수 있는 정보를 삽입하여 추후 저작권에 관한 논란이 일어났을 경우 저작권 정보를 추출하여 저작권 문제를 해결하는 방법이다[1].

멀티미디어 데이터의 소유권을 보호하기 위한 워터마킹 기법에는 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법과 주파수

\* 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음.  
† 준 회원 : 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과  
†† 정 회원 : 진주기전여자대학 실용예술학부 교수  
††† 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수  
†††† 종신회원 : 숭실대학교 미디어학부 교수  
논문접수 : 2003년 3월 6일, 심사완료 : 2003년 6월 19일

영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 공간 영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 공간상에 있는 픽셀의 밝기 값을 변경하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이러한 방법은 비교적 알고리즘이 간단하지만 잡음에 민감하며 영상처리 기법이나 JPEG과 같은 손실압축에 매우 약하다. 따라서 최근에는 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 활발히 연구되고 있다[1-4]. 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 디지털 데이터에 DCT(Discrete Cosine Transform), FFT(Fast Fourier Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform)등을 이용하여 변환된 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이다. DCT을 이용한 워터마킹 기법은 JPEG과 같은 손실 압축률이 높아질수록 블로킹 현상이 일어나며 기하학적인 왜곡에 매우 약하기 때문에 최근에는 다해상도 특성과 시간 및 주파수의 동시 해석이 가능한 DWT을 가장 많이 사용한다. 그러나 DWT은 이동에 의존적이며 대각선 특성을 가지는 방향성 선택의 문제에서 약한 선택성을 가진다. 따라서 워터마크가 삽입된 영상을 이동시키면 정확한 워터마크 추출이 어려우며 많은 양의 워터마크 삽입이 어렵다. 또한 멀티미디어 데이터를 광범위하게 이용할 수 있는 포토샵이나 그림판과 같은 편집 소프트웨어들이 많이 개발되어 데이터 정보를 변형하거나 위조하기가 쉬워졌다. 멀티미디어 데이터가 범적인 용도, 의학적인 용도나 뉴스 또는 상업적인 용도로 사용되는 경우에 데이터의 내용이 조작되거나 변형되지 않았다는 무결성 검사가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 워터마킹 기법과 인증 기법을 제안한다. 제안한 워터마킹 기법은 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 기하학적인 왜곡(이동, 크기 변환, 회전)에 대해서 워터마크 추출이 가능하며 인증 기법은 저작권자의 영상이 훼손되었거나 인위적으로 변형이 이루어졌는지 확인해서 변형되었다면 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)을 이용하여 변형된 부분을 검출한다.

(그림 1)은 본 논문에서 제안하는 시스템 개요도이다. 워터마킹 기법은 원 영상을 콤플렉스 웨이블릿 변환하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입하는 부분과 워터마크가 삽입된 영상으로부터 점진적으로 워터마크를 추출하는 부분으로 구성되어 있다. 인증 기법은 원 영상과 배포된 영상을 인증평가 함수를 사용하여 변형된 부분을 검출한다.

본 논문은 모두 5장으로 구성되며 각 장의 내용은 다음과 같다. 2장에서는 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 기하학적인 변형에 강건한 워터마킹 기법에 대하여 기술하며 3장에서는 디지털 영상의 인증 기법을 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 워터마킹 기법과 인증 기법에 대한 실험 및 성능평가를 수행하고 5장에서는 결론에 대하여 기술한다.

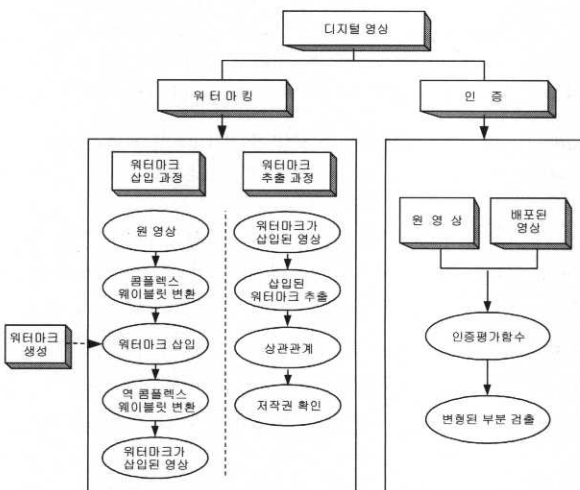
2. 기하학적인 변형에 강건한 워터마킹 기법

본 장에서는 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 왜곡에 강건하도록 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입하고 워터마크가 삽입된 영상으로부터 점진적으로 워터마크를 추출하는 과정에 대해서 설명한다.

2.1 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 삽입

콤플렉스 웨이블릿 변환은 이동에 거의 불변하며 방향 정보의 선택에 있어서 중복성을 줄임으로써 앨리어싱(aliasing) 효과를 감소시키면서 효과적인 시간 복잡도  $O(N)$ 를 제공한다[5]. 따라서 본 논문에서는 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입한다.

워터마크 정보로 명암 영상을 웨이블릿 변환하여 얻어진 계수 값을 사용함으로써 영상에 대한 패턴 유추가 어려워 인위적인 공격에 강건하다. 또한 영상을 주파수 영역으로 변환하면 대부분 중요한 정보가 저주파 영역에 집중하게 되므로 워터마크로 사용하고자 하는 명암 영상을 웨이블릿 변환하여 얻어진 웨이블릿 계수 값 중에서 저주파 정보만을 사용함으로써 영상의 크기를 줄일 수 있다. (그림 2)는 명암 영상을 1-레벨 웨이블릿 변환하였을 때 분해된 신호의 특성에 따른 웨이블릿 영상을 보여준다. 분해된 웨이블릿 영상 중에서 좌측상단에 있는 저주파 영역의 정보만을 사용하여 워터마크를 생성한다.



(그림 1) 제안한 시스템 개요도



(그림 2) 명암 영상의 웨이블릿 변환

다음은 기하학적인 변형에 강건하도록 워터마크를 삽입

하는 단계이다. 본 논문에서는 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 3-레벨 웨이블릿 변환하여 위상 성분의 중요한 위치에 워터마크를 삽입하기 때문에 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 변형에도 워터마크 추출이 가능하다. 이를 위하여 기하학적인 변형에 강건하도록 워터마크 삽입 시 이동, 크기 변환, 회전에 대한 각각의 파라미터  $(i_0, j_0), \sigma, \theta$  를 설정한다.

식 (1)에서  $I(x, y)$ 는  $x \times y$  크기의 원 영상을 나타내며  $v(i, j)$ 는 원 영상을 콤플렉스 웨이블릿 변환(CWT)한 계수 값을 나타낸다.

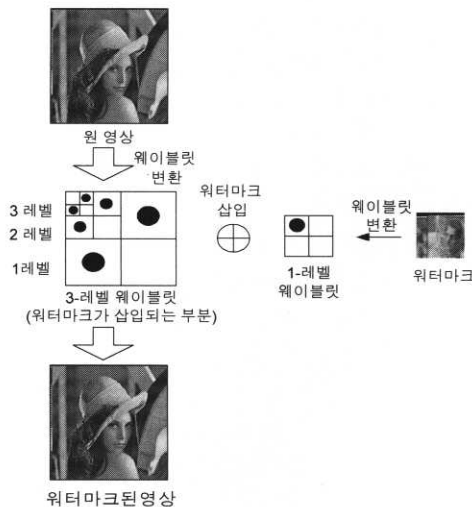
$$v(i, j) = CWT[I(x, y)] \quad (1)$$

식 (2)에서  $w$ 는 워터마크 정보로 명암 영상의 웨이블릿 변환 계수 값 중 저주파 영역에 해당하는 계수 값이다. 그리  $\alpha_k$ 는 각  $k$ 레벨(1~3)마다 워터마크의 크기를 조절하기 위한 스케일 파라미터이다. 영상을 3-레벨 웨이블릿 변환하면 1-레벨에서 3-레벨로 갈수록 저주파 영역에 가까워진다. 저주파 영역에 워터마크를 삽입하면 시각적으로 영상의 화질 저하가 발생하기 때문에 이를 방지하기 위하여  $\alpha$ 값을 작게 조절한다. 본 논문에서 사용한  $\alpha_k$ 의 파라미터는 0~1 사이의 값을 가지며 각  $k$ 레벨마다 다른 값을 사용하였다.  $\overline{v}_k(i, j)$ 는 원 영상을 콤플렉스 웨이블릿 변환한 계수 중에서 위상 성분으로 이동, 크기 변환, 회전에 대한 각각의 파라미터를 가지고 있으며 각  $k$ 레벨에서 임계 값( $T_k$ )보다 클 경우에만 워터마크를 삽입한다.  $v'_k(i, j)$ 는 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수이다.

$$v'_k(i, j) = \overline{v}_k(i, j) + \alpha_k \cdot w \quad (2)$$

$$\overline{v}_k(i, j) = v_k(\sigma(i \cdot \cos \theta + j \cdot \sin \theta) - i_0, \sigma(-i \cdot \sin \theta + j \cdot \cos \theta) - j_0)$$

where  $\overline{v}_k(i, j) > T_k$



(그림 3) 제안한 워터마크 삽입 과정

(그림 3)은 본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 과정을 도식화한 것이다.

### 2.2 점진적 워터마크 추출

기존 방법에서는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 모든 워터마크를 추출하여 원 워터마크와 상관관계를 비교하기 때문에 워터마크 추출 시 많은 계산 양을 필요로 하였다. 본 논문에서는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 점진적으로 워터마크를 추출하여 원 워터마크와 상관관계를 비교함으로써 시간을 단축하였다. 식 (3)은 인증을 필요로 하는 영상으로부터 삽입된 워터마크를 추출하는 방식으로 식 (2)로부터 획득된다. 식 (3)에서  $w$ 는 인증을 필요로 하는 영상으로부터 추출된 워터마크이다.

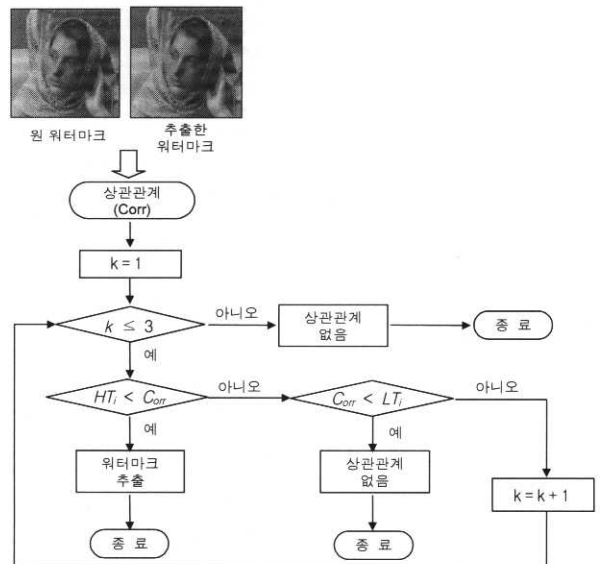
$$w = \frac{v'_k(i, j) - \overline{v}_k(i, j)}{\alpha_k} \quad (3)$$

식 (4)에서  $c_{orr}$ 은 추출된 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교하기 위한 함수이며 각  $k$ 레벨(1~3)마다 두 개의 임계값( $HT_k, LT_k$ )을 사용한다.

$$C_{orr} = \frac{\sum_y \sum_x w \cdot w'}{\sum_y \sum_x (w)^2} \quad (4)$$

where  $LT_k < C_{orr} < HT_k$

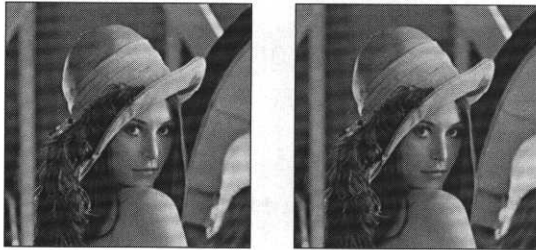
원 영상을 3-레벨 웨이블릿 변환해서 워터마크를 삽입하였다면 워터마크 추출 시 워터마크가 삽입된 영상을 1-레벨 웨이블릿 변환하여 추출한 워터마크와 원 워터마크의 상관관계를 비교한다. 비교한 상관관계 값이 임계값( $HT_1$ )보다 크면 추출한 워터마크와 원 워터마크가 동일한 것으로



(그림 4) 제안한 워터마크 추출 과정



워터마크이며 (그림 6)(d)는 워터마크가 삽입된 영상으로부터 추출된 워터마크이다.



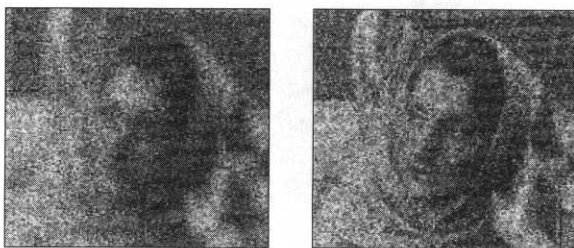
(a) 원 영상 (b) 워터마크된 영상



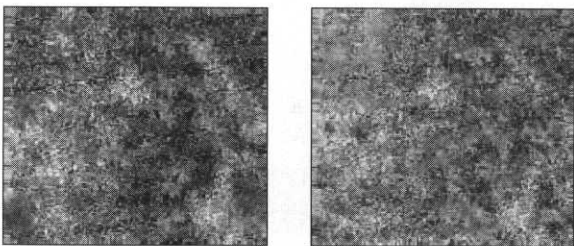
(c) 원 워터마크 (d) 추출된 워터마크

(그림 6) 제안한 워터마크 삽입 및 추출 결과

(그림 7)은 기존의 웨이블릿 변환을 이용하여 워터마크가 삽입된 영상에 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 공격을 한 후에도 워터마크 추출이 가능한지 알아보기 위한 실험 결과이다. (그림 7)에서 (그림 7)(a)와 (그림 7)(b)처럼 워터마크가 삽입된 영상에 블러링이나 잡음을 첨가했을 때에는 워터마크 추출이 가능하지만 (그림 7)(c)와 (그림 7)(d)처럼 이동이나 크기 변환, 회전을 하게 되면 워터마크 추출이 불가능한 것을 볼 수 있다.



(a) 블러링 효과 (b) 잡음 첨가

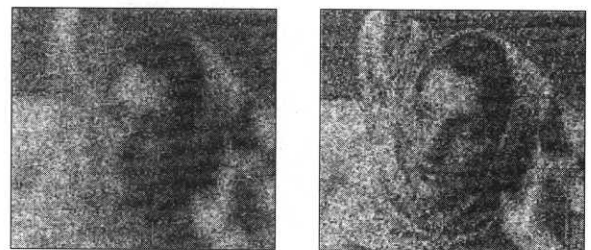


(c) 축소하여 45도 회전 (d) 우측 아래로 이동

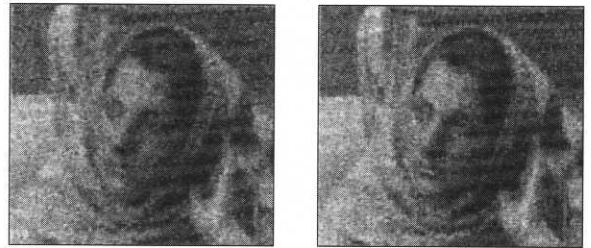
(그림 7) 기존의 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 추출 결과

(그림 8)은 본 논문에서 제안한 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용하여 (그림 7)에서와 같은 공격을 수행한 후 워터마크를 추출한 결과이다. 여러 가지 공격에 의하여 잡음이 많지만 모든 경우에 워터마크 추출이 가능함을 알 수 있다. 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 기법이 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 왜곡에 강건함을 확인할 수 있다.

(그림 9)는 본 논문에서 제안한 디지털 영상의 인증 결과를 보여준다. (그림 9)(a)는 원 영상이고 (그림 9)(b)는 원 영상을 변형한 영상이다. (그림 9)(c)는 원 영상의 변형된 부분을 검출한 영상이다. 실험을 통하여 영상을 변형하였을 경우 변형된 위치와 어떻게 변형되었는지 확인할 수 있다.



(a) 블러링 효과 (b) 잡음 첨가

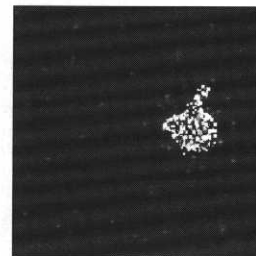


(c) 축소하여 45도 회전 (d) 우측 아래로 이동

(그림 8) 콤플렉스 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 추출 결과



(a) 원 영상 (b) 변형된 영상



(c) 변형된 부분 검출

(그림 9) 디지털 영상의 인증 결과



### 5. 결 론

본 논문에서는 기하학적인 왜곡에 강건한 워터마킹 기법과 디지털 영상의 무결성을 검사하는 인증 기법을 제안하였다. 워터마킹 기법은 원 영상을 콤플렉스 웨이블릿 변환하여 위상 성분에 워터마크를 삽입함으로써 이동, 크기 변환, 회전과 같은 기하학적인 왜곡에 강건하도록 하였다. 또한 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크를 점진적으로 추출하여 상관관계를 비교함으로써 기존 방법의 높고 확일적인 시간 복잡도를 개선하였다. 디지털 영상의 인증 기법에서는 배포된 영상의 무결성을 검사하기 위하여 EZW을 이용해서 워터마크가 삽입된 영상의 인증 코드와 배포된 영상의 인증코드를 논리적 배타 연산하여 인위적으로 변형된 위치와 어떻게 변형되었는지 검출하였다.

향후 연구 과제로는 원 영상을 사용하지 않는 방법에 대한 연구와 동영상과 오디오에도 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Vol.I, pp.520-523, Oct., 1997.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, 6, 12, pp.1673-1687, 1997.

[3] J. J. K. O'Ruanaidh, T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking," Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Vol.I, pp.536-539, Oct., 1997.

[4] J. J. K. O'Ruanaidh, T. Pun, "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking," Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Vol.I, pp.536-539, Oct., 1997.

[5] Nick Kingsbury, "Image Processing with Complex Wavelets," in Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1997.

[6] D. Kundur, D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," Proceedings of ICIP '97, Santa Barbara, CA, USA, Vol.I, pp.544-547, Oct., 1997.

[7] E. J. Delp and R. B. Wolfgang, "A Watermark for Strill Image," Int. Conf. on Image Processing, Sep., 1996.

[8] W. Bender, D. Gruhl and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," Proc. SPIE, Feb., 1995.

[9] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and villasenor, "Visibility of Wavelet Quantization Noise," IEEE Trans. on

Image Processing, Vol.6, No.8, 1997.

[10] Strang, "Wavelets and Dilation Equations," SIAM DEC, 1989.



### 이 나 영

e-mail : nayoung4493@hanmail.net

2000년 청운대학교 컴퓨터학과(공학사)

2002년 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학석사)

2003년~현재 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상 및 신호처리, 워터마크 등



### 김 원

e-mail : wkim@kijeon.ac.kr

1988년 숭실대학교 전자계산학과(공학사)

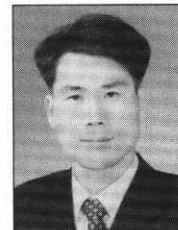
1993년 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학석사)

1997년 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학박사)

1993년~1995년 숭실대학교 전자계산학과 시간 강사

1995년~현재 전주기전여자대학 실용예술학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어 통신, 멀티미디어 저작권 보호 등



### 김 계 영

e-mail : gykim@computing.soongsil.ac.kr

1990년 숭실대학교 전자계산학과(공학사)

1992년 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학석사)

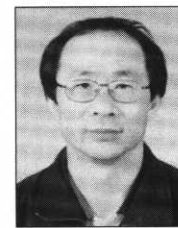
1996년 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학박사)

1996년~1997년 한국전자통신연구원(Post Doc.)

1997년~2001년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2001년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 조교수

관심분야 : 컴퓨터비전, 형태인식, 생체인식, 증강현실, 영상 및 신호처리 등



### 최 형 일

e-mail : hic@computing.soongsil.ac.kr

1979년 연세대학교 전자공학과(공학사)

1982년 미시간대학교 전산공학과(공학석사)

1987년 미시간대학교 전산공학과(공학박사)

1987년~현재 숭실대학교 미디어학부 교수

관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 퍼지이론, 비디오검색, 인터페이스 에이전트 등