

---

# 워터셰드 분할 기법을 이용한 견고한 의료 영상 보안 알고리즘 설계

오근탁\*, 정민식\*\*, 이윤배\*\*

Design of robust Medical Image Security Algorithm using Watershed Division Method

Guan-Tack Oh, Min-Six Jung, Yun-Bae Lee

## 요 약

디지털 워터마크 기법은 음악, 영상, 동영상에 대한 저작권과 재산권의 보호 및 인증, 데이터 손실 여부 판단, 복사 방지 및 추적 등을 목적으로 한 사후 재산권의 보호 기술로 제안되었다. 본 연구에서는 워터마크의 기하학적인 왜곡에 대한 공격에 견고하게 하도록 영상의 전 처리 과정을 거친다. 그리고 선택된 기하학적인 불변 점을 골라 여러 가지 영상처리에 강인하며 일정 기간 압축 저장되는 영상에서도 워터마킹이 유지되도록 워터 셰드(watershed) 분할 기법을 이용한 의료 영상 보안 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘은 의료 영상에 대한 RST 공격, JPEG 압축 공격 그리고 필터링 공격보다 강인함을 확인하였다.

## ABSTRACT

A digital watermarking technique used as a protection and certifying mechanism of copyrighted creations including music, still images, and videos in terms of finding any loss in data, reproduction and pursuit. This study suggests using a selected geometric invariant point through the whole processing procedure based on the invariant point so that it will be robust in a geometric transformation attack. The introduced algorithm here is based on a watershed splitting method in order to make medical images strong against RST transformation and other processing. This algorithm also proved that is has robustness against not only RST attack, but also JPEG compression attack and filtering attack.

## 키워드

Watermarking, RST, JPEG, HIS, RIS, PACS, Fourier analysis, Wavelet analysis

## I. 서 론

오늘날 HIS(Hospital Information System), RIS(Radiology Information System)의 텍스트 중심의 의료 진단시스템은 병원 업무의 효율성을 높여 주고 있다. 반면

에 필름 형태의 의료 영상에 대한 관리는 비효율적인 면도 적잖게 내포하고 있다. 기존의 필름 중심 시스템에서는 의료 영상의 동시 사용과 복사의 한계, 필름 보관에 따른 비용, 인력 및 별도 저장 공간의 확보, 그리고 필름 손상에 따른 재촬영 비용 및 소각에 따른 환경오염 문제

---

\* 조선대학교 컴퓨터공학부 겸임교수  
\*\* 조선대학교 교육대학원 재학  
\*\*\* 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

등이 발생하고 있다.

이와 같은 물리적인 문제를 해결하고 환자에 관한 정보의 보안성 유지와 유용성을 확보하기 위해서 의료 영상의 통합적이고 효율적인 획득과 전송, 저장 관리를 할 수 있는 의료 영상 시스템인 PACS(Picture Archiving & Communication System)가 등장하였다. PACS 환경 하에서의 디지털 의료 정보 영상은 필름 영상에 비해 획득, 전송, 복사 저장의 편리성과 효율성을 가지며 특히 인터넷을 기반으로 하는 의료 이미지 시스템(Medical Image System), 환자 정보의 원격지 전송, 데이터베이스를 이용한 교육 및 정보 이용의 활용을 가능하게 하고 있다(3), (4).

특히 이러한 처리를 통해 획득한 의료 영상 정보는 환자 진료 정보와 관계된 전체 정보를 의미한다. 즉 의료 정보는 매우 다양하고 갖는 의미가 심오하기 때문에 상황에 따라 매우 다른 의미를 가진다. 이와 같이 다양한 의미를 가진 의료 정보는 실제로 환자의 사회적 고립은 물론 생명까지도 위협할 수 있다. 따라서 환자 정보에 대한 철저한 보안과 보호가 필요하다. 그리고 의료 정보의 보안과 함께 멀티미디어 콘텐츠의 디지털 정보에 대한 지적 재산권, 소유권, 데이터 인증 등의 문제가 의료 영상 정보 시스템에서 해결해야 할 문제로 등장하고 있다.

이와 같은 문제 해결을 위한 한 방법으로 불법적인 사용의 제한과 환자 정보 보안 및 인증을 위해 워터마킹(watermarking) 기법이 제안되고 있다. 디지털 워터마킹은 1990년대 초 지적 창작물(음악, 영상, 동영상)에 대한 저작권과 재산권 보호 및 인증 데이터 손실여부 판단, 복사 방지 및 추적 등을 목적으로 한 사후 재산권 보호 기술로 제안되었다(7).

디지털 의료 영상은 의사의 진단 과정이 있기 전에는 어떠한 데이터 변형, 손실도 허용하지 않고 있다. 또한 환자 기록 영상에 대해 일정 기간 법적 저장 보관의 의무가 있기 때문에 영상에 대한 효율적인 압축 방법도 필요하다. 이러한 의료 정보 영상의 특징을 기반으로 디지털 워터마킹을 PACS 환경 및 Web-Based Medical Image System에 적용하여 의료 영상 정보에 대한 환자의 견고한 워터 마킹 방법은 압축, 필터링, 노이즈, 기하학적 변형 등에 대해서 여러 가지 알고리즘이 제안 되었다. 기록의 보안과 개인 사생활 보호, 진단의 정확성 및 저장 정보에 대한 데이터 인증 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 의료 영상 정보에서 발생할 수 있는 기하학적 변환과 압축 등의 영상 변환에서도 워터마크의 견고성을 확인할 수 있는 워터셰드 분할 알고리즘을 적용한 견고한 워터 마킹 기법을 제안하고자 한다.

## II. 의료 영상 정보 시스템

### 2.1 PACS 개념

PACS(Picture Archiving & communication System)는 각종 의료 영상 진단 장치로 촬영한 영상을 디지털화 하여 저장 매체에 저장하고 네트워크를 통해 각 단말기에 전송하여 어디서나 실시간으로 환자의 영상을 조회할 수 있는 시스템이다(4). 즉 의료기관에서 발생한 모든 의료 영상정보를 디지털화하여 영상을 획득하는 PICTURE 영역과 컴퓨터의 기억 매체에 저장하는 Archiving 영역, 데이터 상호 전송 및 수신하는 Communication 대역을 결합한 시스템이다.

의료 영상 정보는 DICOM(Digital Imaging COMMunication in Medicine), gateway, Film Digitizer를 통해 디지털화되며 디지털 의료 영상 장비는 Raw 데이터를 출력한다. 여기에 시간, 진단, 및 환자 정보 등을 추가하여 DICOM 표준 규약의 형식(Format)으로 변환한다. 이와 같은 의료 영상은 내부 및 외부의료 기관에서도 환자를 진단할 수 있도록 네트워크를 통해 전송 가능하다.

### 2.2 워터마킹의 고찰

#### 2.2.1 워터마킹의 개요

워터마킹(Watermarking)은 원래 미술 작품이나 책 등에서 원 저작자의 소유권을 주장하기 위해 잘 보이지 않는 투명한 형태로 표시하는 것을 의미한다. 이것은 800 년대에 이탈리아 지방의 종이 생산 공장에서 자신들이 생산한 종이라는 것을 증명하기 위해 처음 사용하였다. 이와 같은 워터마크 기법을 같은 목적으로 디지털 데이터에 적용한 것이 '디지털 워터마크'이다.

디지털 워터마크는 삽입하려는 원본 디지털 데이터의 품질에 손상을 주지 않는 범위 내에서 원본 데이터 안에 포함시킨다. 원본 데이터와 함께 섞여서 원본 데이터의 크기에 변화를 주지 않으며 원본데이터의 파일을 바꾸지도 않는다. 워터 마킹된 데이터 파일은 사용자가 별 다른 조작 없이 일반적인 방법으로 그 내용을 볼 수 있지

만 불법적 복제, 배포 등으로 원 저작자의 소유권이 침해되는 경우는 기 포함된 워터마크를 근거로 원 저작자의 소유권 보호가 가능하다.

워터마크는 그 사용 목적에 따라 서로 다른 요건들을 가지고 있다. 소유권 보호를 위해서는 워터마크의 강인성이 다른 조건들보다 우선 시 된다. 반면 인증을 위한 워터마크는 삽입된 워터마크가 다른 변형에 손상되어야 하므로 강인성은 배제된다. 워터마크가 갖추어야 할 기본 조건으로는 비가시성(Perceptual Transparency), 강인성(Robustness), 삽입될 정보의 양 등이다.

### 2.2.2 워터마크의 분류

워터마크 기법은 사용 목적에 따라 소유권을 주장하는 워터마크 기법과 인증을 주장하는 워터마크 기법으로 나눌 수 있다. 소유권 주장을 위한 워터마크 기법은 2인 이상의 디지털 데이터 소유권 분쟁 시 원 저작자의 소유권을 분명히 인정하기 위해 사용하는 것이다.

디지털 콘텐츠를 만드는 저작권자는 자신의 콘텐츠 소유권을 주장하기 위해 비밀 키를 이용하여 워터마크를 생성하고 원본 콘텐츠에 삽입시킨다. 이후 워터마크가 삽입되어 공개된 콘텐츠에 대해 제 3자가 소유권을 주장하게 되면 원 저작권자는 자신이 삽입한 워터마크를 추출하여 자신의 소유권을 유지할 수 있다. 소유권 주장을 위한 워터마크 기법은 디지털 데이터에 대한 압축이나 각종 필터링과 같은 일반적인 처리를 하여도 워터마크가 사라지지 않고 유지되어야 하는 강인성을 가져야 한다.

디지털 영상의 저작권 보호를 위한 워터마크 기법은 정지 영상의 경우와 동영상의 경우로 나눌 수 있다.

#### 1. 정지 영상에서의 워터마크 기법

##### 1) 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 기법

이 기법은 원 영상의 밝기의 세기를 변화시키거나 영상내의 임의의 패턴을 삽입하는 방법을 사용한다.

정지 영상의 경우 그림 1과 같이 변경되어도 원영상의 내용과 질에 영향을 주지 않고 화소 값을 LSB(Least Significant Bit)를 워터 마크로 바꾸는 방법과 화소들을 두 개씩 선택한 후 하나는 증가시키고 하나는 감소시키는 Patchwork 방법 등이 있다.



그림 1. Lena 영상에서의 Bit plane  
Fig. 1 Bit Plane in the Lena Image

##### 2) 주파수 영역의 변환계수를 워터마크로 삽입하는 기법

이 기법은 손실 압축을 수행한 후에도 워터마크가 존재할 수 있도록 DTC(Discrete Cosine Transform), DFT(Discrete Fourier Transform) 또는 DWT(Discrete Wavelet Transform) 등을 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입한다. 그리고 LOG-Polar mapping이라는 변환을 적용한 워터마크 기법이 있는데 이 변환은 회전(rotation), 이동(translation), 크기 변환(scaling)에 불변한 공간으로 변환시키는 방법이다. 그림 2는 회전, 이동, 크기 변환에 강한 LPM 기법을 나타낸 것이다.

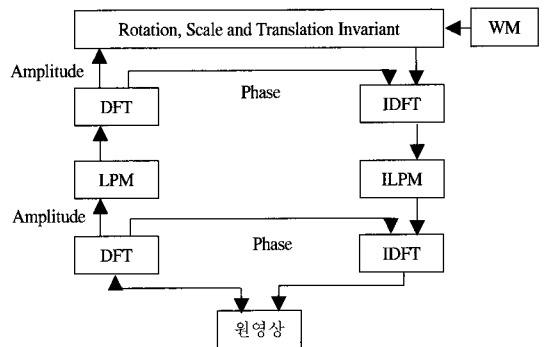


그림 2. 회전, 이동, 크기변환에 강한 LPM 기법  
Fig.2 LPM technique against rotation, translation, or scaling

#### 2. 동영상에서 워터마크 기법

##### 1) 화소영역에서 워터마크

동영상 워터마크 기법은 각각의 동영상 프레임에 정지 영상에서 사용한 워터마크 기법을 우선 적용한다. 그림 3은 일반적인 워터마크 삽입 기법을 나타낸 것으로

정지 영상에서 사용된 워터마크 기법을 각 프레임의 화소 영역에 워터마크를 삽입한다. 그밖에 동영상 각 프레임의 DC-DCT 계수에 워터마크를 삽입하는 방법과 각각의 프레임에서 객체를 구분해 객체에만 워터마크를 삽입하는 방법 등이 있다.

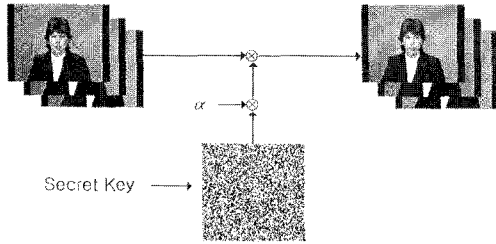


그림 3. 화소영역에서의 동영상 워터마크 삽입 방법  
Fig. 3 Insertion Method of the Image Watermark into the Pixel areas

2) 압축 영역에서의 워터마크

압축 영역에서 워터마크 삽입 방법은 보호하고자 하는 데이터가 이미 압축되어 있는 경우, 복원, 재 압축의 과정 없이 워터마크 삽입이 가능하여 동영상 등에 실시간으로 이용할 수 있다. MPEG의 표준 VLC에서 서로 바뀌어도 전체 비트율이 변하지 않으며 화면의 질의 차이가 거의 없는 VLC 코드 쌍을 추출, 이를 Label-bit-carry VLC(lc-VLC)로 정의하고 lc-VLC를 서로 바꾸어 워터마크를 삽입하는 방법 등이 있다.

III. 워터마킹 기법의 설계

3.1 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크

웨이블릿(wavelet) 분석은 비교적 최근에 개발된 시계열 및 신호 분석 도구이다. 웨이블릿 변환 분석을 위해 Fourier Analysis의 의미를 파악하고 있어야 한다. 이 Fourier Analysis는 신호를 다른 진동수를 지닌 여러 개의 사인 함수로 분할하여 그 신호를 구성하고 있는 성분을 분석하는 방법론이다. 그런데 이 방법론의 중대한 결점은 시간영역에서 진동수 영역으로 변환할 때 시간에 대한 정보가 사라진다는 것이다. 따라서 이와 같은 결점을 보완하기 위해서 Wavelet Analysis가 제안되었다(5). Fourier Analysis는 신호를 다양한 진동수의 사인파(sign)로 분할하여 나타내는 반면 Wavelet Analysis는 신호가

기본이 되는 wavelet(mother wavelet)의 확장 또는 축소, 그리고 이동을 통해 생성된 wavelet(Daughter wavelet)을 이용하여 신호를 분할하여 표현하는 방식이다.

그림 4는 Sign wave와 Wavelet을 비교한 것이다.

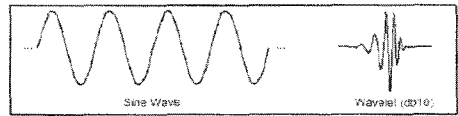


그림 4. Sine wave와 Wavelet의 비교  
Fig. 4 Comparison of a Sign wave & a Wavelet

3.2 웨이블릿 변환

웨이블릿은 단일 원형 함수에 기반을 둔 우수한 Scaling 특성으로 원 신호의 중해상도(multi-resolution) 표현 및 분석이 가능하다. 웨이블릿 변환은 (식 1)에 의해서 저주파 측정에서는 기저 함수 신호 폭이 늘어나고 고주파의 경우 좁아지는 모양을 갖는다.

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{1}$$

그림 5는 일반적인 1차원 신호의 웨이블릿 분해와 복원이 이루어지는 과정을 나타낸 것이다. 그림에서 G0는 고역 여파기를, H0는 저역 여파기를 나타낸다. 2차원 신호인 영상 신호의 경우 수직과 수평 방향에 각각 저역 여파기와 고역 여파기를 사용해 분해한다. 그 결과 서로 다른 4개의 대역이 생기게 되는데 수평 수직 저주파 대역인 LL-band, 수평방향으로 저주파수, 수직 방향으로 고주파수 대역인 HL-band, 수평방향으로 고주파수, 수직방향으로 저주파 대역인 HL-band, 수평 수직 고주파수 대역인 HH-band가 생긴다.

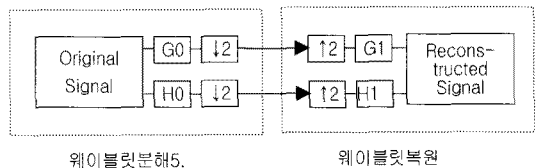


그림 5. 일차원 신호의 웨이블릿 분해와 복원  
Fig. 5 Resolution & restoration of wavelet of 1st degree signal

3.3 워터마크 삽입 및 검출 알고리즘

3.3.1 워터마크 삽입 알고리즘 설계

본 논문에서는 고주파 대역에 워터마크가 삽입되면 다양한 영상처리 과정에 의하여 워터마크의 견고성이 작아진다. 반대로 저주파 대역에 워터마크를 삽입하면 영상에 왜곡이 발생하는 현상 때문에 중간주파수 대역에 워터마크를 첨부하는 방안으로 삽입되는 워터마크를 삽입, 시각적으로 인지 가능한 의미 있는 이진(binary) 영상을 사용하여 워터마크를 삽입한다.

워터마크 삽입은 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

첫째, 소유권자의 이미지 내용에 대한 정보를 포함한 워터마크를 생성한다.

둘째, 3단계 웨이블릿 변환을 통해 원본 이미지를 주파수 영역으로 변환하며, 고주파수 대역에서는 계수의 절대치 기준의 임계치를 설정한다.

셋째, 주파수 영역에서 워터마크를 삽입할 저주파 성분 영역과 수평 방향과 수직 방향과 대각선 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분 영역에 임계치를 설정한다. 이 임계치는 이미지 워터마크를 시각적으로 삽입하기 위해 설정한다.

넷째, 설정된 임계치를 적용하여 (식 2)에 의해 웨이블릿 변환에 따라 워터마크를 인코딩한다.

$$D_c = D_c(1 + \alpha W_c) \quad |D_c| > t_i \text{ 일 경우} \quad (2)$$

$$D_c = D_c \quad (\text{이외의 경우})$$

여기서, DC는 정해진 해상도 계층과 정해진 주파수 방향에 따라 원본 이미지의 주파수 영역에서의 웨이블릿 계수의 값, D'C는 워터마크가 삽입된 이미지의 주파수 영역에서의 웨이블릿 계수의 값, W는 워터마크 순서, 주파수 방향과 일치되는  $t_i$ 는 임계치를 나타낸다.

다섯째, 워터마크가 삽입된 계수의 시퀀스를 역 이산 웨이블릿 변환하여 워터마크가 삽입된 이미지를 생성한다.

3.3.2 워터마크 추출 알고리즘 설계

워터마크를 추출하는 과정은 삽입 과정의 반대로 삽입과정의 각 단계를 역순으로 처리한다. 워터마크된 영상으로부터 워터마크를 검출하기 위해서는 먼저 원영상과 워터마크된 영상을 웨이블릿 변환 후 계수의 차를 구하고 삽입과 동일하게 생성된 의사 잡음 코드 값과 비

교하여 삽입된 워터마크 영상을 추출한다. 추출 순서는 다음과 같다.

첫째, 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지를 각각 웨이블릿 변환에 의해 주파수 대역으로 변환한다.

둘째, 변환된 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 이미지 사이의 계수의 차를 구한다.

셋째, 임계치를 설정하여, 그 임계치를 앞 단계에서 구한 값에 적용하여 워터마크가 삽입된 위치를 찾아내고 추출한다.

넷째, 유사도를 측정한다.

3.3 워터마크 인증 단계

워터마크의 추출은 삽입단계의 역 추적과정에 의해 처리되고 추출된 워터마크가 원소유자의 정보가 담긴 워터마크인지 아닌지, 통계학적 접근방법을 이용하여 인증한다. 워터마크가 삽입된 이미지 변형이나 삽입된 워터마크를 제거하기 위한 다양한 공격 형태, 즉 손실 압축, 필터링, 잡음 첨가, 크로핑 리샘플링 등의 이미지 처리를 한 경우에 추출되는 워터마크를 인증할 필요가 있다.

본 연구에서는 추출된 워터마크를 인증하기 위해서 통계학적인 접근방법을 이용하여 추출된 워터마크의 유사도를 판단하는 상관계수를 이용한다. 인증 절차를 도해하면 그림 6과 같다.

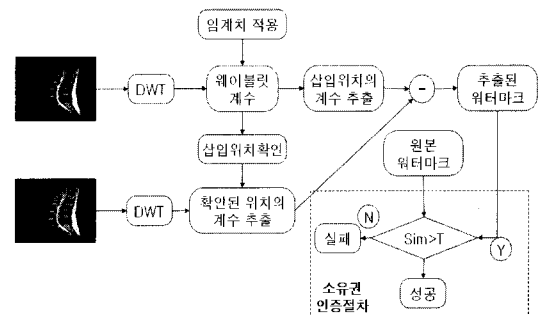


그림 6. 소유권 인증 절차  
Fig. 6 The certifying procedure of copyright

IV. 기대성과 및 활용 방안

본 연구에서는 멀티미디어 콘텐츠 저작권자의 소유권을 효과적으로 보호하고 데이터의 불법 복제 및 배포

를 제한할 수 있는 효율적인 마크 기법을 환자 의료 영상 정보 보안에 적용 하였다. 특히 의료 영상 정보의 보안 유지를 위해 인증과 무결성을 보장하기 위한 새로운 방법도 강구하였다. 또한 새로운 알고리즘 설계를 통해 기존의 알고리즘이 갖고 있는 화질 저하 문제를 해결하고 워터마크가 삽입된 정확한 위치를 숨길 수 있도록 하였다.

### V. 결론

본 연구에서는 디지털 영상 데이터의 저작권 보호를 위해 시각적으로 인지할 수 있는 이진 워터마크 영상을 원 영상에 삽입 및 검출할 수 있도록 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 특히 본 논문에서는 의료 영상에 가해질 수 있는 다양한 변형 및 공격 중, 워터마크 추출 시 워터마크 간의 동기(synchronization)를 찾기 어렵게 하는 RST 변환을 해결하기 위해서 워터마크 분할 방법을 이용한 알고리즘을 사용하였다. 그리고 영상의 공간 주파수 성분에 주파수 대역 확산 방식으로 사용자 정보를 삽입하였다.

그리고 본 연구에서는 기하학적인 불변점을 사용하여 워터마크의 기하학적인 왜곡에 대한 견고성을 개선하였다. 이것은 다른 형태의 공격에 대한 기반이고 다른 공격에 대한 기존의 연구 결과들을 추진하는데 강력한 영향을 줄 수 있는 기술이라 할 수 있다.

그러나 의료 영상은 특성상 의사의 진단이 있기 전까지는 어떤 변형도 허용되지 않기 때문에 어떤 환경으로 인해 영상 변형이 있을 때 이를 검출하는 Fragile 방식과 워터마크 영상을 원 영상처럼 자유롭게 사용하기 위해 검출 이후에는 삽입 워터마크를 제거하는 Reversible 방식에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

### VI. 참고문헌

- [1] DICOM(Digital Imageing and Communications in Medicine), part 1 ~ 15(PS3.1-2001~ PS3.15-2001), Published by National Electrical Manufacturers Association, 1300 N. 17th ,2003.
- [2] E.T.Lin, C.I.podilchuk, and E.J.Delp, "Detection of image alterations using semi-fragile watermarks,"SPLE international Conf. on Security and Watermarking of Multimedia, 2003.
- [3] Yun Bae Lee & G. T. Oh, ' Security Mechanism for Medical Image Information on PACS using Invisible Watermark', High performance computing for computational Science-VECPAR 2004(LNCS-3402), pp.315-323, Spain, 2004.06.
- [4] 이윤배, 오근탁 '의료 영상의 이미지 보안을 위한 워터마크 기법', 추계 종합 학술집(8권 2호), 한국해양정보통신학회, PP.0722-0724, 2004.10.
- [5] 이윤배, 오근탁, '모바일 환경에서 의료 정보 특성을 고려한 디지털 서명', 한국해양정보통신학회 논문지 (9/2), pp. 374-379, 한국해양정보통신학회, 2005.06.
- [6] 이윤배, 오근탁, 구제영, ' 웨이블릿을 적용한 PACS 보안 알고리즘 설계', 2005년 추계 학술 발표 논문집 (12/3), pp. 38-42, 한국정보처리학회, 2005.10.
- [7] 이윤배, 오근탁, ' 워터 마크 기법을 이용한 PACS 보안 알고리즘 설계', 한국해양정보통신학회 논문지 (9/6), pp.1309-1315, 한국해양정보통신학회,2005.10.
- [8] 이윤배, 오근탁, 정민식, 'Design of effective algorithm based on the watermark Technique for PACS security', Springer, pp.110-117, ICOT-2007(Japan), 2007.6.

### 저자소개



이윤배(Yun-Bae Lee)

1980.2 광주대학교 전자계산학과 졸업(이학사)  
1983.2 광주대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)

1994.2 숭실대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학박사)  
1988 ~ (현) 조선대학교 컴퓨터공학부 교수  
2004 ~ (현) 한국정보처리학회 부회장  
1997 ~ 1999 조선대학교 정보과학대학장  
1999 ~ 2001 광주광역시 시정 정책 자문위원  
2005 ~ 2005 국무총리 청소년 보호위원회 인터넷 정책분과 위원

※ 관심분야 : 인공지능(로보틱스), 정보보안, 데이터베이스, 컴퓨터교육, 컴퓨터그래픽, 가상현실 등



오근탁(Guan-Tack Oh)

2002.2 조선대학교 대학원 전자계산  
학과 졸업(이학석사)

2006.2 조선대학교 대학원 전자계산  
학과 졸업(이학박사)

2008 ~ (현) 조선대학교 컴퓨터공학부 겸임교수

※ 관심분야 : 정보보안, 영상처리, 가상현실, 컴퓨터  
교육



정민식(Min-Six Jung)

2005.2 조선대학교 전자계산학과  
졸업

2006 ~ (현) 조선대학교 교육대학원  
재학

※ 관심분야 : 컴퓨터교육, 정보보안, 컴퓨터 그래픽