

## □ 특집 □

## 웨이브릿을 이용한 홍채 인식

안 영 아<sup>†</sup> 윤 정 모<sup>††</sup> 김 태 윤<sup>†††</sup>

## ◆ 목 차 ◆

1. 서 론
2. 홍채학의 특성

- 3 웨이브릿을 이용한 홍채 인식
- 4 결 론

## 1. 서 론

생체 인식 시스템 다양화 추세와 눈의 홍채를 감식하는 '전자 눈'의 등장으로 획기적이고, 위조가 거의 불가능 하여 신뢰성이 높고, 현금 지급기, 과학 수사 등에 활용되어 질 것이다. 세상에 똑같은 사람은 하나도 없듯이 각인 각색의 생물학적 데이터를 이용해 사람을 가려내는 이른바 생체 감지기(바이오메트릭스)시대가 다가오고 있다. 미국 뉴저지에 있는 현금 자동 지급 개발 업체인 센서사는 눈을 들여다보고 고객을 알아내는 현금 자동 지급기를 선보일 예정이다. 또 하나는 '전자 눈'으로 이 기기는 우선 고객의 홍채에 시선을 집중한다. 홍채는 우리 눈의 검은 자를 둘러싸고 있는 부분으로 사람마다 독특한 특징을 가진다. 한국 사람들의 갈색의 눈과 서양인들의 푸른 눈은 바로 이 홍채의 색 때문이다. 이 회사는 홍채가 사람마다 다른데다 평생동안 변하지 않는다는데 착안했다. 미국 미스터페이롤사는 고객의 얼굴을 골라내는 '미스터 페이롤'이라는 이름의 자동 투표 교환, 현금 지급기를 이미 텍사스 포트워스에서 실제 가동중이다. 이 시스템은 '트

루페이스'라고 불리는 바이오메트릭 기술의 원리를 적용하여, 얼굴이 지문과 같이 사람을 구별하는 역할을 하는 기법이다. 고객이 일단 은행을 방문해 적외선 스캐너(광학판독장치)로 3차원의 얼굴 윤곽을 잡아 이를 컴퓨터에 입력하면 언제든지 그 고객을 정확히 가려낸다.[1]

현금 자동 지급기는 일상 생활에 커다란 변화를 몰고 오고 있다. 24시간 영업을 해도 교대 근무자가 필요 없고 바쁜 현대인들이 언제나 돈을 찾을 수 있다. 카드를 분실하거나 비밀번호를 잊어버리더라도 하면 큰 낭패를 보게 된다. 고객은 이 생체 인식 시스템으로 현금 자동 지급기에서 카드를 밀어넣고 헛갈리는 비밀번호를 기억해 낼 필요가 없다. 그저 얼굴이나 손만 내밀면 된다. 이 시스템에는 얼굴, 지문, 필적, 음성, 손 및 홍채 심지어는 동맥까지 이용된다. 컴퓨터 보안전문가인 앨런 그윈은 생체인식시스템이 가장 신뢰할 수 있는 고객 분별방법이라고 말한다. 그는 "다른 사람의 얼굴이나 지문을 위조한다는 것은 대단히 어렵다"며 "응용 분야도 여권 신분증 건물출입증 범죄수사 등으로 폭 넓다"고 설명한다. 미 연방수사국도 범죄 수사에 특별한 관심을 보이고 있다. 경찰 기록에 이 같은 사진 자료를 입력해 놓고 범죄 용의자들을 검거하는데 시험 활용중이다.

이처럼 생체 인식 시스템은 다양한 접근을 시도하고 있다. 여기에서는 다양한 생체 인식 매체

† 준 회원 : 고려대학교 컴퓨터학과

†† 종신회원 : 서울산업대학교 전자계산학과 교수

††† 종신회원 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수

중에서 홍채의 특성을 이용하여 최근 각광 받고 있는 웨이브릿 기술과 접목하는 방법에 대해서 논하고자 한다.

## 2. 홍채학의 특성

홍채학이란 인체에서 가장 복잡한 세포(Tissue) 구조를 이루고 있는 부분으로 홍채를 연구하는 학문으로 우리 인체 각 장기 및 조직기관의 건강 상태, 노폐물이나 독소의 축적부분, 가장 안쪽에 내재한 신체의 각점 및 약점들의 제반 사항은 모두 홍채에 나타나 있다. 따라서 의사는 홍채에 나타난 여러 가지 형태 및 증후를 분석하여 현재 인체 내 어느 특정부위의 건강 변화 상태를 알아 내고, 이를 치료하거나 혹은 장애 나타날 이상을 조기에 진단하고 이를 방지할 수 있는 것이다. 현재 일반적인 홍채 검진의 우수성은 인정되지만, 진단 비용이 고가이며 진단시간이 비교적 길고, 진단을 위해 환자는 불편을 감수 해야 하며, 무엇보다도 실제로 그러한 진단이 불필요할 경우가 적지 않다. 하지만 홍채 진단법의 경우 그 방법이 간단하며, 비용이 저렴하고 또한 환자가 불편을 느끼는 일 없이 진단 받을 수 있는 장점이 있으며, 진단의 정확도도 매우 높다. 이러한 홍채 진단법을 현재 사용되고 있는 진단법과 함께 사용될 경우 더욱 정확한 진단결과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 무엇보다도 독자적으로 간편히 이용될 수 있으면서도 우수한 효과를 기대 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.[2]

현재 미국에서 다루어지고 있는 질병의 80%는 만성 질환이라 할 수 있는데 본 진단법은 특히 이러한 만성질환에 더욱 효과적으로 활용할 수 있다. 환자에게 일어나고 있는 홍채의 세포 변화에 대한 간단한 분석을 통해 현재 진행중인 신체 내의 이상이나 병의 호전상황에 대한 판단은 물론 특히, 현재의 진단 방법으로는 부족한 부분,

즉, 장애의 질환에 대한 정확한 예측 및 그 예방을 가능케 해주기 때문이다. 오늘날, 각종 질병 증상이 다양화됨에 오진율은 놀랍게도 1920년대 만큼이나 많이 발생하고 있다. 환자에게 다양한 증상의 x-ray, Sulfa제 혹은 현대인들이 섭취하는 각종 음식 등에 들어있는 합성 화학물질과 대기오염 등을 통한 공해물질과 정신적 스트레스 증가, 생활 습관의 변화등 증상의 변화 및 다양화를 야기시키고 있다. 따라서, 현재의 증후학(symptomatology)에 의존하여 환자를 치료하고자 할 경우 적합한 치료를 위한 정확한 진단결과를 얻기에는 미흡할 수 밖에 없는 것이다.

무엇보다도 본 홍채학의 장점이라 할 수 있는 것은 이것이 예방의학의 실천에 매우 적절한 한 분야라는 점이다. 현재 시행되고 있는 전통적 진단법은 일단 어떤 임상증후 혹은 병이 외부적으로 출현하였을 때만이 비로소 이에 대한 분석 및 판단이 가능하나 홍채 진단법의 경우 실제 어떤 질병의 임상증후가 밖으로 표출되기 훨씬 이전 이미 홍채 내 나타난 증상을 통해 인체가 안고 있는 장애의 문제점을 그 초기 단계에 파악할 수 있도록 해주기 때문이다. 따라서 이러한 정보의 근거하에 각자의 건강계획을 세우고 실천함으로써 미래의 병 발생을 예방 할 수 있게 되는 것이다.

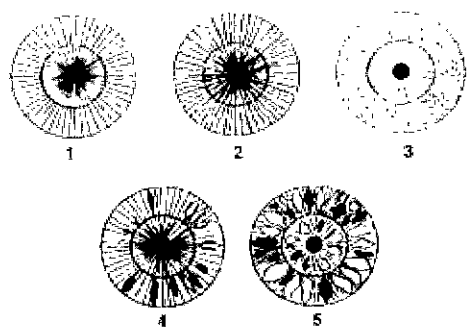
홍채학 이론에 따른 실제진단 및 치료를 통해 그 진정한 가치를 충분히 체험할 때, 우리는 이 가치 있는 학문이 이때 새로운 시대를 맞이하고 있음을 깨닫게 될 것이다.[2]

위와 같이 홍채는 의학분야에서 처음으로 알려진 학문이다. 그러나 그 유효성으로 다른 분야에서의 응용이 일어나고 있다.

작년의 연구-그리 많지는 않아도 잘 알려진 연구들-결과를 보면, 안저가 변화하는 질환의 일반적인 증후학에서 홍채의 전반적이고도 국소적인 징후가 적지 않은 역할을 했음을 알 수 있다. 심지어 지금 우리는 홍채 진단 검사를 하면 모든

안과적 증상보다 더 많은 정보를 알 수 있을 것이라고 말할 수 있다. 우리는 홍채의 징후, 국소적으로 안정적인 것(홍채 국소학과 관련된 것)과 국소적으로 불안정한 것(그 위치와는 무관한 것) 모두가 고체성 영역과 기관을 자극하여 활성화시키는 증식성 섬유가 손상을 받아 나타나는 증상을 투영하는 것이라는 점도 고려하고 있다. 그것은 “일부 내부기관을 마치 길에 드러나 보이게 하듯이” 명시화 하는 것이 아니라 신경적 외형의 증식의 결과인 것이다. 따라서 홍채에 나타나는 한가지 또는 그 이상의 징후를 알아내는 것은 중요하고도 섬세한 작업이다.

홍채 유전학적 증후군과 그 복합체 우선, 홍채학에서 알아야 할 것은 홍채는 선천성 손상을 가장 잘 반영해주는 거울과 같은 것으로, 유전자형이 정해져 있다는 점이다. 그래서, 흥미 있는 홍채 유전학적 문제점을 연구하는데 많은 시간을 투자하고 있다. 완전히 똑같은 얼굴을 가진 사람이 이 세상에는 단 두 사람도 없다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 각 사람의 홍채 또한 완전히 다르다. 홍채가 손가락의 지문 검사 확인법 보다 더 미세한 구별점을 많이 가지고 있다. 개인의 체질상 특성을 반영해주는 홍채의 증식성 구종의 결합을 통해 우리는 가장 간단한 형태 몇 가지를 구별할 수 있다. 다음은 E. S. Velkhover에 의해 홍채를 5가지로 분류한 그림이다.



(그림 1) 홍채의 분류

그림 1에서 첫 번째는 어떤 사람의 홍채는 열려있는 fan처럼 생겼는데, 이것은 규칙적인 방향이 있는 얇은 섬유-소주(trabecules)라고 함-로 이루어져 있다. 우리는 이 형태를 방사성 형태라고 한다. 옅은 색의 눈을 가진 사람들은 진한 색의 눈을 가진 사람들보다 그런 방사성 형태의 눈을 가지고 있는 정도가 10배 이상은 된다. 조사에 따르면, 홍채의 방사성 형태는 극히 드문 것으로 나타났다. 방사성 홍채는 좋은 체질인지를 알 수 있는 지표이고 건강한 사람들에게서 전형적으로 나타나는 징후이다 (그림 1의 1).

두 번째는 홍채의 다른 형태로는 굵어있고 방향이 방사성인 다소 두꺼운 소주처럼 보이는 것이 있다. 이것을 “신경성” 형태라고 한다. 신경쇠약 증세와 경축(spasm) 성향은 이 형태의 내재적 인자이다 (그림 1의 2). 세 번째 홍채 형태는 방사성-동종형(radial homogeneous)으로 조밀하고 색깔도 같은 모양체 대(belt)와 함께 동공대 내에 있는 방사성 그림이 조합되어 그 특징을 나타낸다. 이런 형태의 동공은 짙은 색의 눈을 가진 사람들에게서만 나타난다. 방사성 형태와는 달리 이런 형의 홍채는 좋은 체질을 알려주는 지표이고 건강한 사람들에게서 볼 수 있다 (그림 1의 3).

네 번째 홍채 형태는 방사성 열공(radial-lacunar) 형태이다. 이 형태의 홍채는 희미한 나뭇잎 모양의 함몰부-열공을 가진 얇은 기질로서 홍채표면의 30%나 차지하고 있다. 이런 형태의 홍채는 각기 다른 피부색의 사람들의 2.1-17% 정도에서 찾아 볼 수 있다. 체질이 약한 사람들에게 전형적으로 나타나는 형태로서 기능부전과 이 형태의 홍채를 가진 사람들은 질병이 발병하기 쉬운 사람들이다 (그림 1의 4). 다섯 번째 홍채 형태는 열공성 형태이다. 이런 형태의 홍채에는 얇은 기질이 있고 어떤 부분에서는 소주와 많은 수의 열공이 혼돈스럽게 얽혀 있는 것이 분열되기도 한다.

이런 소주와 열공이 홍채 표면의 30% 이상을 차지한다. 이것은 가장 약한 홍채 형태로서 많은 기관과 계통의 선천성 기능 부전을 진단, 구별하기 위한 지표이다. 짙은 색의 눈을 가진 사람보다 옅은 색의 눈을 가진 사람들에게서 2배 이상은 더 많이 이런 형태의 홍채를 발견할 수 있다 (그림 1의5). 홍채의 형태 외에도 홍채 구조의 조밀함도 홍채학에서는 대단히 중요한 것이다. 홍채가 더 맑고 그 조직이 조밀할수록 사람의 기관 조직은 더 건강해진다고 흔히 생각한다. B.Jense (1964) 이라는 학자는 홍채의 조밀정도를 몇 가지로 분류해 놓았다. 그는 그것을 부드러운 것, 중간 정도의 것, 단단한 것으로 분류해 놓았다.

근래 컴퓨터 시스템이 도입된 후 홍채 진단법은 홍채진단의 잠재적인 방법(홍채와 홍채주변의 모양에 바탕을 두고)으로 놀라게 발전해 왔다. 서통에서 개발한 BEXEL, IRINA 장비는 가장 새롭고, 가장 발전한 컴퓨터화 복합체로 홍채와 주변의 조직에 대해 정확하고, 고통 없이, 빠르고 간단한 진단 가능성을 제공하며, 홍채의 기하학적 항목의 자동화 과정을 SW가 진단을 하는데 돕고 있다. 홍채 진단학의 관점에서 인접한 각 조직 사이에서 그 조직의 Integral system은 사람들에 대한 일반적인 건강상태에 대해 폭 넓은 정보를 수집하는 것이 가능하도록 했다.

### 3. 웨이브릿을 이용한 홍채 인식

웨이브릿 해석은 1980년대에 들어와서 활발하게 연구되기 시작한 이론으로 기존의 푸리에 해석이 가지고 있는 이론적 한계를 극복하기 위하여 시작되었다[3,4]. 푸리에 해석의 한계는 신호를 분석할 때 그 신호의 시간정보와 주파수정보를 동시에 파악할 수 없다는 것이다. 이러한 한계를 극복하기 위한 기존의 접근방법으로는 푸리에 해

석에 시간축 상의 윈도우 개념을 접목시킨 Gabor 변환 또는 Short-Time 푸리에 해석 등이 있다. 그러나, 이러한 방법들은 근본적인 해결책이 되지 못한다. 그 이유로는 윈도우의 크기에 따라서 분석 가능한 신호의 주파수 영역대가 미리 정해진다는 것과, 각각의 블록들 사이에 신호의 불연속성으로 야기되는 Blocking Effect(Gibbs현상)등이 존재하기 때문이다[3,4]

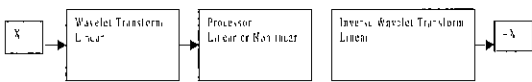
한편, 이러한 문제 외에도 푸리에 해석을 통해서 전체 신호의 에너지가 특정한 변환 계수에 집중되도록 하기가 힘들다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 제시된 것이 Karhunen-Loeve 변환이지만, 이 방법은 입력신호들의 통계적 특성에 따라 각각 다른 Basis들을 찾아야 하기 때문에 실질적 응용이 어렵다는 문제가 있다[3,4]

웨이브릿 해석은 그 기원을 입자물리학의 양자장론중에서 재정규군(Renormalization Group)이론, 수학의 조화해석(Harmonic Analysis)중에서 Calderon-Zygmund Operator이론, 그리고 신호처리 분야의 Multi-Resolution Filter Bank 이론 등에 두고 있다 [3]. 그리고, 이 이론은 Meyer, Mallat, Daubechies 등의 공헌으로 앞에서 제시한 푸리에 해석의 여러가지 문제들을 효과적으로 해결할 수 있게 되었다.[3,4,5]

웨이브릿 해석의 Multi-Resolution 특성과 시간-주파수 동시 해석 특성, 그리고 Compact Support 특성 등을 이용하여 최초로 이론이 응용된 분야는 영상압축 분야였고, 지금 현재 차세대 정지영상 압축표준화 회의인 JPEG 2000에서도 웨이브릿 이론에 근거한 다양한 압축 기법들이 제안되고 있다.[6]

한편 1990년대에 들어와서 웨이브릿 해석은 이론과 응용 모두 비약적인 발전을 하게 되는데, 이는 Donoho, Coifman, Johnstone, 그리고 Sweldens 등의 공헌에 힘입은 바가 매우 크다. 이들은 웨이브릿 신호 및 영상처리에서 강력한 수학적 도구

가 될 수 있는 이유에 대하여 이론적인 연구를 수행하였고 새로운 패러다임을 구축하였으며 빠른 계산방법 등을 확립하였다[4]. 특히, Donoho는 웨이브릿 해석을 신호의 Denoising에 적용하여 상당히 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 그는 Unconditional Basis(Riesz Basis)라는 개념을 이용하여 웨이브릿이 거의 모든 분야의 응용에서 Optimal Basis로써 작용할 수 있다는 것을 증명하였으며, 웨이브릿을 적용한 새로운 신호 및 영상 처리의 패러다임을 확립하였다. 아래의 그림은 웨이브릿을 이용한 신호 및 영상처리의 개요도이다.[4]

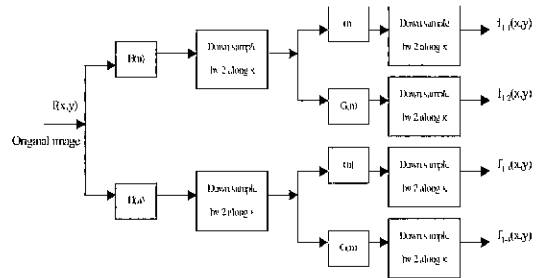


(그림 2) 웨이브릿 변환 기반 신호처리의 개요도

그림 2에서 볼 수 있듯이, 주어진 신호  $X$ 를 웨이브릿 변환하게 되면, 시간(공간)정보와 주파수 정보를 동시에 가지게 된다. 이때 시간(공간)과 주파수를 동시에 알게 되므로 웨이브릿 변환된 계수의 크기도 유용한 정보로 이용이 가능하다. 이에 대한 예를 들면 다음과 같다. 영상에서 잡음 제거를 위한 기존의 방법들은 대부분 Lowpass Filter를 이용하지만 이 경우 잡음과 더불어 유용한 정보인 경계선 정보도 손실될 가능성이 매우 높다. 대부분의 경계선은 잡음과 마찬가지로 고주파 성분으로 구성되기 때문이다. 그러나, 그림2에서 보인 새로운 신호 및 영상처리 패러다임에 따르면 주파수 정보와 동시에 시간(공간)정보도 알 수 있기 때문에 변환계수의 크기에 따라 유효정보인 경계선과 잡음을 구별할 수 있게 된다. 영상에서 경계선 검출을 할 경우에도 같은 이론을 적용할 수 있다.[4,7,8]

앞의 그림2에서  $X$ 는 잡음제거를 위한 입력 영상,  $\sim X$ 는 잡음이 제거된 출력 영상을 의미한다고 가정했을 때 잡음 제거를 위한 방법의 개요는 다

음과 같다. 먼저 주어진 영상을 웨이브릿 변환한다. 웨이브릿 변환은 선형 Operator에 해당된다. 그런 다음 웨이브릿 변환된 영상에 잡음제거를 위한 어떠한 프로세싱을 가한다. 이 프로세싱은 선형이던지 아니면 비선형이던지 상관없다. 이러한 과정을 통하여 새로 얻은 영상을 역 웨이브릿 변환하여 잡음이 제거된 영상을 획득한다. 웨이브릿 변환과 마찬가지로 역 웨이브릿 변환도 선형 오퍼레이터에 해당된다.



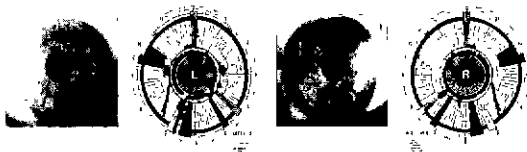
(그림 3) 차원 웨이브릿 변환 블록 다이어그램

그림 3은 웨이브릿 변환 블록 다이어그램을 나타낸다. 한편, 웨이브릿 변환을 사용하지 않는 기존의 일반적인 선형 필터들은 그 근본적인 개념이 Lowpass 필터링에 있었다. 그 이유는 대부분의 잡음 성분은 영상에 있어서 사실상 고주파수 성분에 해당되기 때문에, Lowpass 필터링을 통하여 고주파수 성분에 해당되는 잡음을 제거할 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 방법을 적용하게 되면 잡음과 마찬가지로 고주파수 성분에 해당되지만, 실제로는 중요한 정보를 내포하고 있는 경계선과 같은 성분들도 제거가 되는 치명적인 문제점이 존재한다. 당연한 결과로 잡음이 많이 제거될수록 영상에 있어서의 Blurring효과도 크게 나타난다. 사람의 시각이 경계선 정보에 민감한 것을 감안할 때, 이는 반드시 극복되어야 할 문제인 것이다.[3,4] 특히 Lowpass 필터를 아주 잘 설계하여, 제거할 수 있는 주파수 성분을 엄밀하게

조절할 수 있다고 할지라도, 과연 어떤 주파수 성분이 경계선 정보에 해당되는지를 판별하는 것은 불가능하다. 즉, 주파수만을 이용하여 영상의 잡음 정보와 경계선 정보를 분리한다는 것은 엄밀한 의미에서 보자면 불가능하다는 것이다[3,4]

반면에 웨이브릿 변환을 이용한 영상의 잡음 제거 기술의 경우에는 경계선 성분과 잡음 성분의 분리 기준으로 주파수를 사용하지 않고, 그 대신 웨이브릿 변환된 영상의 Amplitude를 사용한다는 것에 그 특징이 있다[4]. 즉, 똑같은 고주파 성분에 해당되더라도 경계선의 Amplitude는 잡음의 Amplitude에 비하여 그 값이 크다는 것을 이용하면, 경계선과 잡음을 구별할 수 있게 되고, 따라서 잡음 제거 성능을 기존의 방법들에 비하여 상당히 향상시킬 수 있다는 뜻이다.

그림 4는 눈의 좌 우 구조로서 홍채의 방사 형태를 잘 나타내주고 있다. 동양인의 홍채를 카메라로 입력받은 영상이며 그 옆의 그림은 홍채가 지금까지의 연구로 나타난 특성을 나타내는 것이다. 여기에 기반하여 홍채에 웨이브릿을 적용하여 특징 추출이 이루어져야 한다.



(그림 4) 눈의 좌 우 구조

#### 4. 결 론

생체인식 시스템 다양화 추세로 눈의 홍채를 감식하는 '전자 눈'의 등장하므로 획기적이며, 위조가 거의 불가능해 신뢰성이 높고, 현금 지급기, 과학수사 등에 활용되어 질 것이다. 세상에 똑같은 사람은 하나도 없듯이 각인 각색의 생물학적 데이터를 이용해 사람을 가려내는 이른바 생체

감지기 시대가 다가오고 있다.

생체 인식의 한 분야인 홍채를 웨이브릿 기술을 적용하여 다양한 정보를 추출하고, 그 추출된 정보를 이용하여 여러 가지 응용시스템과 접목시킬 수 있다. 현재 홍채를 이용하는 시스템들이 있기는 하지만 아직도 해결해야 할 문제들이 많이 산재해 있다. 특히 홍채에서 원하는 정보를 추출하는 기술은 아주 중요하다. 이러한 기술을 최근 여러 분야에서 인증된 웨이브릿 기술을 이용하여 연구하는 것이 바람직 할 것이다. 홍채학이 의학 분야에서 연구되어진 결과이지만 실제 다양한 응용 시스템에 좀더 적극적으로 사용 되어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] <http://myhome.shinburo.com/~freemen/biometrics/biometrics.html>[6]
- [2] <http://www.bexel.co.kr/medical/no401.htm>
- [3] M.Vetterli and J.Kovacevic, Wavelets and subband coding, Prentice-Hall, 1995
- [4] C.S.Burrus, R.A.Gopinath, and H.Guo, Introduction to wavelets and wavelet transforms : A Primer, Prentice-Hall, 1998
- [5] L.Prasad and S.S.Iyengar, Wavelet analysis with applications to image processing, CRC Press, 1997
- [6] <http://www.jpeg.org>
- [7] Yansun Xu, J.B.Weaver, D.M.Healy, Jr., and J.Ju, Wavelet transform domain filters: A spatilly selective noise filtration technique, IEEE Trans. Image Processing, vol.3, no.6, November 1994.
- [8] <http://www.zunet.com/pcweek/review/>



**안 영 아**

1993년 서울산업대학 전산학과 (학사)  
1996년 고려대학교 컴퓨터학과 (석사)  
1999년-현재 고려대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 영상 압축



**윤 정 모**

1968년 광운대학교 응용전자공학과 졸업  
1971년 성균관대학교 산업대학원 전산학전공(경영학석사)  
1993년 일본 오사카부립대학교 대학원 전자계산학전공 (공학박사)

1966년-1982년 한국전력(주) 근무

1986년-현재 서울산업대학교 전자계산학과 부교수

관심분야 : 패트리널 응용, 소프트웨어공학 등



**김 태 윤**

1981년 고려대학교 산업공학과 (학사)  
1983년 미국 Wayne State University 전산과학과(석사)  
1987년 미국 Auburn University 전산과학과(박사)

1988년-현재 고려대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 네트워크 보안, EDI 시스템, ISDN, 이동통신, 위성통신, 컴퓨터 그래픽스 등