

## 홍채 인식을 위한 동공 중심점 탐색 알고리즘에 관한 연구

조민환\*, 허정연\*\*

# The Study on Searching Algorithm of the center of Pupil for the Iris Recognition

Meen-Hwan Cho \*, Jung-Youn Hur \*\*

### 요 약

홍채인식은 개인의 홍채 패턴을 이용한 인식시스템으로 정보보안 분야나 개인 인증에 최고의 인증시스템중 하나로 알려져 있다. 홍채 인식을 위해 가장 먼저 해결해야하는 문제는 동공중심점탐색 이 매우 중요하다. 지금까지 많은 탐색 알고리즘들이 개발되었으나 대부분 처리시간이 매우 많이 소요된다. 본 논문에서는 새로운 동공 중심점 탐색 방법을 제시하고, Hough 변환을 이용한 방법과 비교 하였다. 그 결과 120개의 이미지를 대상으로 실험한 결과 약 30%의 처리 속도 개선의 결과를 얻었다.

### Abstract

Iris recognition is a bio metric personal identification which uses iris pattern of the pupil, and it is recognized as one of the best technology in personal identification and information security field. Before iris recognition, it is very important to search center of pupil. In recent years, there was developed many searching algorithms of center of pupil, but all most method are too many processing time. In this paper, we proposed a new method for searching center of pupil. This method is greatly reduced processing time about 30 % compared with other algorithm using Hough transformation.

▶ Keyword : 홍채(The Iris), 동공 중심점(Center of Pupil)

---

• 제1저자 : 조민환

• 접수일 : 2005.11.25, 심사완료일 : 2006.01.26

\* 창원전문대학 컴퓨터정보처리과 조교수, \*\* 경남대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수

## I. 서론

사람의 생물학적 특징 중의 하나로 눈동자에 존재하는 홍채는 사람마다 고유한 특성을 지닌다. 개인 인증에 홍채 패턴을 이용하는 것은 정확성, 안정성, 편리성 및 인증 속도 면에서 다른 생체정보를 이용한 인식방법에 비해 성능이 매우 우수하다. 이러한 홍채는 비 접촉 방식으로 인식이 가능하고, 생후 1-2년 내에 생성되어진 고유한 홍채의 패턴은 일생동안 절대 변하지 않으므로 현재 가장 많이 연구되고 있는 생체인식 기법이다.[1]

홍채인식 처리과정은 먼저 디지털 카메라를 통해서 입력받은 영상에서 홍채를 포함하는 눈의 이미지만 선택적으로 분리 추출되어야하며, 이 때 기준이 좌표는 대부분 동공을 기준으로 한다. 얼굴인식에서도 얼굴 이미지 추출을 위해 눈을 기준좌표로 사용한다. 입력 이미지에서 동공의 중심점을 찾는 알고리즘은 이미지의 x축과 y축에 투영되는 픽셀의 누적된 값의 변화(미분값)를 이용하여 근사적 중심을 찾은 다음 Hough 변환과 최소자승에러를 이용하여 동공의 중심점을 찾는다. 이 과정은 처리 시간이 많이 걸리며, 경계가 모호할 경우 정확한 중심점 검색이 어렵다.

본 연구는 최소자승법을 이용하여 좀더 빠르게 동공의 중심점을 검색할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다. 최종 동공의 중심점이 찾아지면 이것을 이용하여 홍채를 추출하고, 추출된 이미지에서 특징을 추출하여 데이터베이스에 등록된 내용과 비교하였다. 이렇게 구해진 홍채 이미지에서 결(texture) 분석을 통해 구해진 특징을 토대로 개개의 홍채이미지를 인식한다. [2][3][4]

## II. 눈의 구조

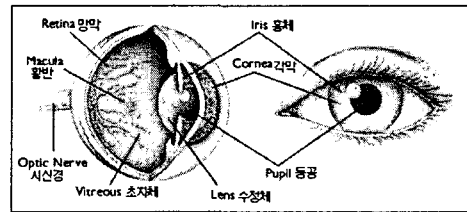


그림1. 홍채의 구조  
Fig. 1 The Structure of Eye

(그림 1) 에서 보는 바와 같이 일반적으로 눈을 관찰하면 크게 동공과 홍채, 공막, 그리고 투명하게 홍채나 동공을 덮고 있는 각막으로 나누어진다. 동공은 눈동자라고도 하며, 카메라의 조리개와 같은 역할로 안구 안으로 들어가는 광량을 조절함과 동시에 가까운 물체를 볼 때에 작아져서 초점심도를 깊게 하여 안전상의 이미지 상을 명료하게 한다. 동공의 크기, 모양, 운동 등은 주로 홍채 내에 있는 동공괄약근과 동공 산대근의 상대적인 작용에 의하여 자율적으로 변화한다. 따라서, 동공의 크기는 변하게 되는데 일반적으로 2~6mm의 지름을 가지게 된다. 동공은 정확한 원형이 아닌 좌우 지름이 약간 더 긴 타원형이고, 정상적인 경우 좌우의 동공크기가 같지만, 선·후천적 영향으로 크기가 다른 경우가 있는데, 이를 동공부동이라고 한다.

홍채는 각막(Cornea)과 수양액(Aqueous humour) 사이에 있으며 수정체 앞에 존재하는 색상을 가지고 있다. 홍채 내부 장기로써 신체 장기 중 유일하게 외부에서 관찰 가능하며 인지적으로는 1m 이내에서는 식별이 가능한 조직이다. 외부에서 본 홍채는 중심의 동공영역과 이를 둘러싸고 있는 모양체의 영역으로 나눌 수 있고, 두 영역의 경계를 홍채의 깃 부분(Collarette)으로 내피층이 갑자기 끝나는 부분에 생기는데 그 모양은 동공영역을 둘러싼 지그재그 형태의 움기된 형태로 나타난다. 동공을 둘러싸고 있는 부분으로 도우넛 모양의 외형을 띠고 있으며, 홍채의 이완이나 수축에 따라 동공의 크기가 변하게 하며, 이런 작용을 인해 망막에 도달하는 빛의 양을 조절하게 된다. 이러한 홍채는

생후 약 18개월에 걸쳐 모양이 완성되며, 눈썹과 눈꺼풀, 망막에 의해 보호되기 때문에 일생동안 그 모양이 쉽게 변하지 않고, 다른 생체의 특성보다 높은 일관성을 가진다. 연구에 의하면 한사람의 홍채는 약 266개의 측정 가능한 특징을 가지고, 두 홍채가 서로 같을 확률은 약 1078분의 1 이라고 한다. 즉, 홍채는 같은 사람일지라도 왼쪽과 오른쪽이 서로 다를 뿐만 아니라 같은 유전자 구조를 가지고 있는 일란성 쌍둥이의 경우도 서로 다른 매우 뛰어난 변별성을 가지고 있으며, 또한 눈의 수정체와 각막·안방수 사이에 존재한다.

홍채는 외부에서 관찰 가능한 유일한 체내기관으로 직경은 약 11mm정도로 동공의 개폐를 조절할 수 있는 근육으로 구성되어 있으며, 외부로부터의 빛을 조절한다. 구성형태는 동공관약근, 동공 산대근, 교원질 섬유, 자유 신경환, 동공 주름등으로 영겨있으며, 착색과 함께 홍채 무늬를 만든다. 이들은 방사 및 회전방향으로 변형이 어려워져 지문과 같은 독특한 패턴을 만들게 된다. [3][5][6]

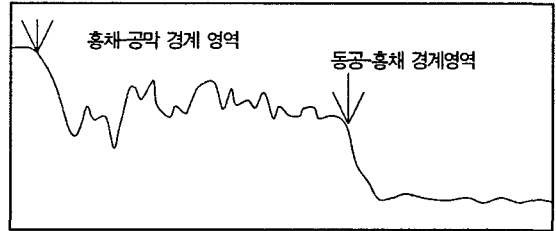
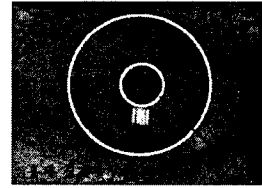


그림 2. 동공과 홍채 경계영역 추출  
Fig. 2 Extraction of Pupil and Iris Boundary

Daugman은 홍채 추출을 위해 원형 검출기를 사용하였다. 원형 경계 검출기는 식(3. 1)으로 중심과 반지름에 대한 원주의 변화율을 이용한다[2].

### III. Daugman의 동공중심 탐색 알고리즘

$$\frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \dots\dots\dots (3.1)$$

홍채 영역 추출은 일관성 있는 홍채 특징을 추출하기 위해 정확하게 이루어져야 한다. 홍채 영역 추출은 (그림 2)과 같이 동공과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 내부 경계(동공 경계)와 공막(retina)과 홍채의 경계에 해당하는 홍채의 외부 경계(홍채 경계)를 추출하는 두 부분으로 이루어진다. 대부분의 홍채추출 알고리즘들은 아래와 같은 기본 특징들을 이용하여 구성되어있다.

- . 공막은 홍채 영역보다 매우 밝은 명암도를 나타낸다.
- . 동공은 홍채 영역보다 어두운 명암도를 가지고 있다.

(그림 2)에서와 같이 동공-홍채, 홍채-공막 영역의 경계 영역에 명암도의 변화가 매우 큰 것을 알 수 있다.

Daugman은 이 두 경계를 원으로 가정하고 두 경계에 가장 잘 맞는 원의 중심점과 반지름을 구함으로써 홍채 영역을 추출하였다.[6][7]

임의의 중심(x0, y0) 반지름 r이 인 원주상의 모든 점 I(x, y)의 그레이 값을 더하고, 2πr로 나누어 정규화 시키고, 이 값을 반지름에 대한 변화율로 나타내면 원주의 변화 값이 된다. 여기서 원주의 변화 값이 최대일 때의 중심 반지름은 동공과 홍채를 모델링한 원의 중심과 반지름으로 한다. 식(3. 2)

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \dots\dots\dots (3. 2)$$

잡음 등에 의해서 경계가 아닌 곳에서 변화율이 최대가 되거나 두꺼운 경계를 찾기 위해서 식 (3. 3)과 같이 가우시안 블러 함수를 적용한다.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\delta}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \int_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \dots (3. 3)$$

\*은 컨볼루션이고 G 은 가우시안 블러 함수이다. 이를 이산적인 영상에 적용하기 위해 이산적인 형태로 바꾸면 아래 식 (3. 4)과 같다.

$$\max_{(x, y, x_0, y_0)} \left| \frac{1}{\Delta r} \sum_k \{ (G_{\delta}((n-k)\Delta r) - G_{\delta}((n-k-1)\Delta r)) \sum_x \{ I((k\Delta r \cos(m\Delta\theta) + x_0), (k\Delta r \cos(m\Delta\theta) + x_0)) \} \right| (3. 4)$$

### IV. 무게중심과 최소자승 에러 검색 알고리즘에 의한 제안된 동공 중심 탐색 알고리즘

#### 4.1 동공 중심점 탐색 알고리즘

가장 먼저 수행되어야 할 일은 얻어진 눈의 이미지에서 홍채의 위치추정 이다. 눈의 구성요소인 동공, 홍채, 공막에서 정확하게 홍채의 위치만을 측정해 낼 수 있어야 한다. 앞서 이야기한 바와 같이 홍채는 도넛 모양으로 안쪽과 바깥쪽에 둥근 원형의 경계를 가진다. 먼저 안쪽 경계를 위해서 동공과 홍채의 경계를 얻어야 하는데, 가장 쉬운 방법으로 이진화가 있지만 본 논문에서는 보다 빠르고 정확한 새로운 동공의 중심을 구하는 방법은 기존의 알고리즘(6)[8][9]을 개선하여 다음과 같은 알고리즘을 사용했다.

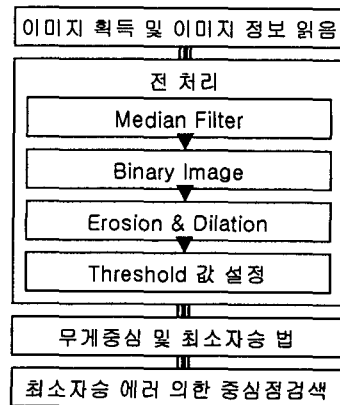


그림 3. 동공 중심점 탐색 알고리즘  
Fig. 3 Searching Algorithm of Center of Pupil

- ㉑ 이미지획득 및 헤더 파일에서 이미지에 관련 정보 읽음
- ㉒ 전 처리과정에서 잡음제거를 위한 5\*5 중간값 필터, 동공 영역 추출을 위한 0.8\* 평균밝기 값을 문턱치로 사용하여 이진화 영상으로의 변화, 동공 가장자리의 돌출 부 제거를 위한 수확의 침식과 팽창을 실행 그리고 동공의 크기 범위를 설정하기 위한 최소, 최대 임계값 설정.
- ㉓ 임계값에 의한 동공 이외의 이미지를 제거.
- ㉔ x축과 y축 투영
- ㉕ 투영된 이미지에서 무게 중심 계산
- ㉖ 무게 중심이 임계치를 벗어난 경우 투영된 이미지에서 최소자승법에 의한 변곡점 계산
- ㉗ 무게중심과 최소 자승법에 의한 계산된 중심을 사용하여 동공의 가장자리 까지 최소 자승 에러 계산
- ㉘ Error가 최소인 최적중심 동공 탐색한다.

처리과정의 효율을 높이기 이미지의 상단과 하단 그리고 좌 우 30%의 정보는 절삭하였으며, 홍채의 외곽 경계는 위에서 구해진 수평선에 걸쳐진 부분의 화소에서 영교차를 이용한 방식을 사용하여 그 변화점이 가장 큰 부분을 선정하여 이를 외부 경계로 삼았다. 이러한 방법을 이용하여 홍채의 내부 경계와 외부 경계를 구할 수 있었다. [2][5]

#### 4.2 눈 영상 획득

홍채인식 시스템에서 사용자에게 거부감을 주지 않고 선명한 눈 영상을 획득하는 것은 매우 중요한 부분 중의 하나이다. 초점 값을 이용하여 선명한 눈 영상을 획득하는 방법은 크게 2가지가 있다[10]. 첫 번째 방법은 기존의 비디오키메라나 자동카메라에서 사용하는 상대적 초점 값을 이용한 초점 판단으로 사용자가 시스템에 접근 할 때 입력으로

들어오는 모든 영상을 비교하여 그 중 가장 초점 값이 높은 영상을 획득하는 방법이다. 이 방법은 가장 초점 값이 높은 선명한 영상을 획득 할 수 있지만 모든 영상을 저장해야 하므로 많은 메모리가 요구된다. 두 번째 방법은 초점 값이 어느 값 이상이면 선명한 영상이라고 판단하여 영상을 획득하는 방법이다. 이 방법은 상대적 초점 값을 이용한 초점 판단에서 필요한 영상 저장 공간이 필요 없어 메모리가 요구되지 않지만 사용자에 따라 다른 초점 값으로 인해 기준이 되는 절대적인 초점 값을 찾는 것이 어렵다. 본 논문에서는 획득 대상 눈의 위치를 고정하고, LED에 의한 단파장 광을 조사하여 가장 선명한 영상을 획득하였다.[11]

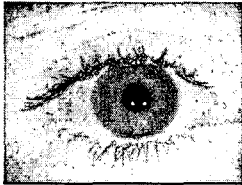


그림 4. 원본 영상  
Fig. 4 Original Image

### 4.3 전 처리

영상을 실제의 대상으로부터 입력시키는 과정에서 전기적인 센서 잡음, 화상, 잡음 채널 오류 등의 불필요한 신호가 섞이게 된다. 이러한 잡음은 필터링에 의하여 최소화 할 수 있다. 입력 영상에서의 잡음은 정상적인 영상이 갖는 주파수 보다 높은 주파수 성분을 갖는다. 이러한 잡음은 5\*5 중간 값 필터를 사용하여 제거하였다. 잡음이 제거된 이미지는 동공의 명암이 다른 영역에 비해 현저하게 낮으므로 적절한 문턱치 값을 선택하여 이진화 영상으로 변환하면 동공만의 영상을 얻을 수 있다. 이 때 사용되는 문턱치 값은 이미지 밝기의 평균값을 구하고, 밝기 평균값에 0.8배를 곱한 값으로 결정하여, (그림 4)에 대하여 적용한 결과 Fig. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다.[12][13]

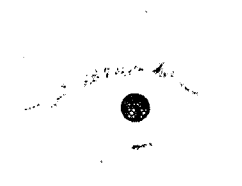


그림 5. 이진화 영상  
Fig. 5 Binary Image

### 4.4 무게 중심 및 최소 자승법을 이용한 동공 중심 검출

동공 중심 검출을 위해 (그림 5)에 대한 x축 투영과 y축 투영된 값을 식(4. 1)을 이용하여 무게 중심 ( $X_c, Y_c$ )를 계산한다.[14]

$$X_c = \frac{\sum X_i \times M_{xi}}{\sum M_{xi}}$$

$$Y_c = \frac{\sum Y_i \times M_{yi}}{\sum M_{yi}} \dots\dots\dots (4. 1)$$

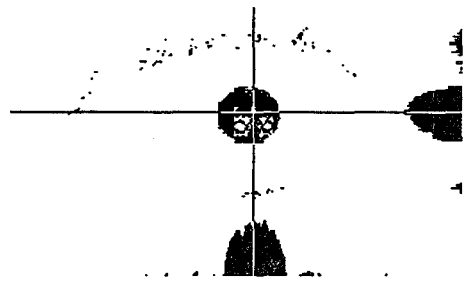


그림 6. 무게중심의 동공중심 이용  
Fig. 6 Approximate center of pupil using Center of Mass

식(4. 1)를 사용하여 (그림 5)에 대한 무게중심을 계산하면 (그림 6)과 같이 나타난다.

대부분의 경우 무게 중만으로 동공 내부에 초기 중심을 찾을 수 있으나, 만약 무게 중심에 의한 동공 내 초기 중심 탐색이 실패 할 경우 아래와 같은 알고리즘에 의해 2차 최소 자승법에 의한 변곡점을 계산하여 x축과 y축의 중심좌표로 설정한다.

#### 4.3.1 최소 자승법에 의한 중심좌표 탐색 알고리즘

- ① x축과 y축에 투영된 픽셀 값 중 추정된 동공의 1/3 크기 정도의 최소 값 이하이거나, 동공의 1.3배 이상인 픽셀 값들은 모두 0으로 처리한다.

- ㉞ 임의의 픽셀 값 중 인접 값이 모두 0인 값은 0으로 처리한다.
- ㉟ 나머지 값을 이용하여 2차 최소자승법을 사용하여 x축과 y축의 변곡점을 구한다.
- ㊱ 이 값을 동공의 최초 중심 값으로 선정한다.

동공 내 최초 중심 값이 구해지면 이 점을 시작으로 동공 외곽까지 반경의 변화가 가장 작은 위치를 최소자승 에러 법을 사용하여 계산한다.

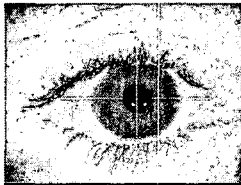


그림 7. 동공 중심점 처리결과  
Fig. 7 The Results of Pupil Center Searching Algorithm

표 1. 제안 방법과 기존방법의 비교  
Table 1. Comparing Results of the Proposed and Traditional Algorithms

적용 알고리즘	에러 율(%)	평균처리속도
D 알고리즘	17.5	~ 0.7sec
제안 알고리즘	17.5	~ 0.5sec

기존 알고리즘(Daugman)은 동공-홍채, 홍채-공막 영역의 이 두 경계를 x축 투영과 y축 투영 값의 최대 미분 값을 계산하고, 이것을 기반으로 Hough 알고리즘을 사용한 최소 오차를 가지는 원 탐색 알고리즘을 사용하였다. 본 논문에서는 Daugman 알고리즘에서 최대 미분 계산이 생략되고, 원둘레를 구하는 Hough 알고리즘에 비해 적은 계산 횟수로 중심과 둘레를 구할 수 있었다.

120개의 눈 이미지에 대한 동공 중심점 탐색이 실패한 경우 21개 영상으로 두 경우 모두 동일하였으나, 처리 속도에서는 제안한 알고리즘이 더 빠름을 알 수 있다.

## V. 시뮬레이션 및 실험결과

### 5.1 실험 환경

실험장비는 IBM PC 컴퓨터 호환 기종 Pentium IV 1GHz 이다. 영상획득을 위해 카메라는47만 화소 VGA급 흑백 CCD이미지 센서를 사용했으며, 영상획득 보드는 Matrix Meteor II Standard를 사용하였다. 눈 이미지 입력 장치를 통한 입력 영상의 크기는 640×480이며 초당 최대 25 프레임의 영상을 획득 할 수 있다.

실험은 제안한 눈 동공 중심점 탐색 알고리즘의 처리속도 및 성능에 관한 실험을 실시하였다.

### 5.2 실험결과

동공 중심점 탐색 성능은 중심점 검색결과에 대한 정확도와 처리속도를 평가 하였다. 실험에 쓰인 영상은 다양한 환경에서 30명으로부터 120개의 영상을 획득하여 Daugman의 동공 중심점 검색 알고리즘과 비교하였다(표 1).

## VI. 결론

본 논문에서는 홍채 인식을 위한 동공 중심점 탐색 알고리즘을 제안했다.

중심점 검출을 획득한 이미지를 대상으로 전 처리하여 이진화 영상을 만든 다음 수회의 침식을 처리하여 작은 점이나 눈썹 영상을 제거하였다. x축과 y축의 투영에 대한 최소 자승법으로 처리는 무거운 중심 계산에 비해 처리시간이 매우 많이 걸리므로 무거운 중심으로 동공 내 초기 지점을 찾지 못할 경우 최소 자승법을 이용하였다. 이 점을 기준으로 최소자승 에러 법을 사용하여 최종 중심점을 계산하였다.

120개의 이미지를 대상으로Hough 변환을 이용한 방법과 비교 한 결과 정확도는 동일하였으며, 약 30%의 처리속도 개선의 결과를 얻었다.

### 참고문헌

- [1] Yong Zhu, Tieniu Tan and Yunhong Wang, "Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns", IEEE International Conference on Image Processing, VOL. 2, pp.805-808, September 2000.
- [2] Rafael C. Gonzalez, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp161-249 1992
- [3] Richard P. Wildes "Iris Recognition : A Emerging Biometric Technology", IEEE, Vol.85, No.9 1997
- [4] 김재희, "생체인식 심화학습-홍채인식", 『시큐리티 월드』 March 2001
- [5] Gerald O. Williams, "Iris Recognition Technology", IEEE, pp46-59 1996
- [6] John Daugman, "How Iris Recognition Works", University of Cambridge, 10
- [7] J. G. Daugman, "High confidence Recognition of Persons by Rapid Analysis of Iris Texture," IEEE Conference Publication, No. 408, pp. 244-251, May 1995.
- [8] I. Pitas, Digital Image Processing Algorithms and Applications, Wiley Interscience, pp241-257 2000
- [9] D. de Martin-Roche, C.Sanchez-Avila, R.Sanchez-Reillo, "Iris Recognition for Biometric Identification Dyadic Wavelet Transform Zero-Crossing", IEEE, pp.272-277, 2001
- [10] Kangsun Choi, Junsuk Lee, and Sungjea Ko "New Autofocusing Technique The Frequency Selective Weighted Median Filter for Video Cameras" IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 3, Aug. 1999
- [11] 장대근, 전병태, "카메라문서 영상의 이진화 및 기울어짐 보정방법", 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제10권 제3호, 2005.
- [12] Yong Zhu, Tieniu Tan and Yunhong Wang, "Biometric Personal Identification Based on Iris Patterns", IEEE, pp801 -804 2000
- [13] 조성목, "이미지 특징 추출연산자 DBAH/DBAG 와 하드웨어 실현", 한국OA학회 논문지, 제6권 제1호, 2001.
- [14] Wei Yi "A Fast Finding and Fitting Algorithm to Detect Circles" Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARESS '98, 1998 IEEE International, Vol. 2, pp.1187 -1189

### 저자소개



#### 조민환

1989년 3월 숭실대학교 산업대학원 전자계산학과(공학석사)

2001년 2월 경남대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)

1994년 3월 ~ 현재 :  
창원전문대학  
컴퓨터정보처리과 조교수

#### 허정연

1970년 2월 경북대학교 문리과 대학 물리학과(이학석사)

1982년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1992년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1983년 3월 ~ 현재 : 경남대학교 공과대학 컴퓨터공학부 교수