

碩士學位論文

홍채 영상에서 자율신경환 영역 검출에
관한 연구



濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科

康 眞 榮

2003年 12月

홍채 영상에서 자율신경환 영역 검출에 관한 연구

指導教授 金 壯 亨

康 眞 榮

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.



康眞榮의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 宋 旺 瞰 印

委 員 金 壯 亨 印

委 員 郭 鎬 榮 印

濟州大學校 大學院

2003年 12月

A Study on Collarette Boundary Extraction in Iris Image

Jin-Young Kang

(Supervised by professor Jang-Hyeong Kim)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2003. 12.

목 차

Summary	iv
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
1. 홍채의 특징	3
2. 자율신경환	4
3. 홍채 영역 검출 알고리즘	6
III. 자율신경환 영역 검출 알고리즘	10
1. 관심 영역 검출	10
1) 이진화	10
2) 형태학적 연산	12
3) 무게 중심	15
4) 홍채 영역 및 관심 영역 검출	16
2. 자율신경환 영역 검출	18
1) 좌표계 변환	18
2) 전처리	20
3) 통계정보를 이용한 자율신경환 영역 검출	22
3. 제안 알고리즘 흐름도	26
IV. 실험 및 결과 분석	27
1. 실험 환경	27
2. 실험 결과 분석	28
V. 결 론	32
참고문헌	34

그 립 목 차

Fig. 1 An example of human eye	4
Fig. 2 Various shapes of collarette	5
Fig. 3 Cross section of iris	5
Fig. 4 Circle template	8
Fig. 5 Bisection method	9
Fig. 6 Establishment of threshold value	11
Fig. 7 Original eye image(left) and thresholded image(right)	12
Fig. 8 Example of binary erosion	13
Fig. 9 Erosion mask	13
Fig. 10 Erosion operation	14
Fig. 11 Example of binary dilation	15
Fig. 12 Dilation mask	15
Fig. 13 Dilation operation	15
Fig. 14 Center of pupil	16
Fig. 15 Inner boundary(left) and outer boundary(right)	17
Fig. 16 Extracted iris area(left) and final region of interest(right)	17
Fig. 17 Cartesian coordinate system	18
Fig. 18 Polar coordinate system	19
Fig. 19 Transformed image to polar coordinate	20
Fig. 20 Image processed histogram equalization	21
Fig. 21 3×3 Sharpening filter	22
Fig. 22 Image processed sharpening	22
Fig. 23 The rate of the cumulative mean value	24
Fig. 24 The value of standard deviation	24
Fig. 25 Extracted collarette boundary	25
Fig. 26 Suggested algorithm	26
Fig. 27 Simulation images	28
Fig. 28 Time required for detection pupil and iris boundary	29
Fig. 29 Final success rate of finding the boundaries	30
Fig. 30 Eyebrow(left) and camera being out of focus(right)	31
Fig. 31 Reflected light	31

표 목 차

Table. 1 Simulation environments	27
Table. 2 Time required for detecting pupil and iris boundary	29
Table. 3 Final success rate of finding the boundaries	30



Summary

In Oriental medicine, the shape of collarette that forms with position in the iris of patients often used by health diagnotcian to grasp health condition. In this paper, I suggest method that effectively extract the collarette boundary that exist in iris.

The collarette boundary is located between the pupillary zone and theciliary zone. To find the collarette boundary, I suggest three step processes. At first step, iris is extracted from an eye image using threshoding and morphology, gray level value. And next step, histogram equalization and a sharpening filtering, after transforming from cartesian coordinate to polar coordinate, are applied to image. At last step, the collarette boundary is found using the statistical information from the image, and, finally, the iris is localized between the inner boundary and the collarette boundary.

As a result of experiment about iris images, I confirmed that can be used as assistant tool of diagnostic system that can presume state of ventriculus of human body.

I. 서 론

생체인식(Biometric) 기술은 별도로 사람이 인위적으로 기억하거나 보관할 필요할 필요가 없으며, 도용이 힘들다는 점에서 보안 및 인증분야의 해결책으로 제시되고 있으며, 인간이 가지고 있는 생체 특징을 이용해 건강 진단 및 체질 분류가 가능하기 때문에 대체의학의 분야에서도 점차 그 영역을 넓혀가고 있다. 생체인식 기술은 영상신호나 음성신호의 형태로 입력된 개인의 신체적, 행동적 특징을 분석하여 본인 여부를 확인하는 기술로 대표적인 인식 기술로는 얼굴(face) 인식, 지문(fingerprint) 인식, 홍채(iris) 인식, 망막(retina) 인식, 장문(palmprint) 인식, 정맥(vein) 인식, 서명 인식(signature) 등이 있다(Jain, 1999).

이 중에서도 홍채인식 기술은 눈 중앙의 동공과 공막(sclera)사이에 존재하는 홍채 무늬 패턴이나 색상 정보 등을 이용하는 기술로 신체적 접촉이 없어 사용자에게 거부감을 주지 않으며, 다른 사람의 홍채 무늬 패턴이 동일할 확률은 거의 없고, 또한 신체에 이상 징후가 있을 경우 홍채의 패턴이 변화하기 때문에 사용자의 신원을 확인하는 보안 분야나 대체 의학 분야에서 대표적으로 사용되고 있는 인식기술이다(Daugman, 1993), (Wildes, 1997).

이러한 홍채인식 기술에 사용되는 여러 가지 특징 중에서 자율신경환은 홍채 영역에 형성된 조직으로 일반적으로 원에 가까운 모양의 형태를 갖고 있으며, 형성된 위치와 모양을 분석함으로써 홍채영역 검출을 위한 전처리 방법(임, 2003)이나 건강 진단의 보조적인 수단으로 활용되고 있다.

본 논문에서는 홍채 내부에 존재하는 자율신경환 영역 검출을 위한 알고리즘을 제안한다. 홍채 영상은 전체적으로 낮은 gray level 분포를 갖기 때문에 Sobel, Roberts, Prewitt, Laplacian과 같은 기존의 경계 검출 연산자(Gonzalez, Woods, 2001)를 사용하여 자율신경환의 경계를 찾아내는 방법은 매우 어렵다. 본 논문에서는 우선 자율신경환이 존재하는 관심 영역(Region of interest)인 홍채 영역을 획득하기 위한 방법으로 이진화 기법(최, 1997)과 형태학적 연산

(Serra, 1982), (강, 하, 2003)을 통해 동공 중심을 설정하고 동공의 중심에서 횡축으로 일직선상에 있는 화소들의 gray level 값의 변화율이 가장 큰 양쪽 지점을 찾아 두 반경을 정규화하는 방법을 통해 홍채 영역을 추출하는 방법을 제안하여 사용한다. 그리고 계산의 효율을 높이기 위해 자율신경환은 홍채 내부 경계에서 약 1/3 지점에 있다는 특징을 바탕으로 홍채 영역을 검출하면서 얻었던 동공 중심으로부터의 거리를 줄임으로써 관심영역을 축소한다. 그리고 직각 좌표계로 표현된 관심 영역을 극 좌표계로 변환하여 이를 홍채 영역의 반지름 r 와 각도 θ 로 표현되는 직사각형으로 변환시켰으며, 자율신경환 경계를 찾아내기 위해 히스토그램 평활화 기법과 고주파 강화 필터링 과정의 전처리를 통해 영상을 개선시킨 다음 영상의 통계정보(Gonzalez, Woods, 2001)를 이용하여 최종적으로 자율신경환 경계를 검출한다.

논문의 구성은 II장에서는 본 논문에 대한 이론적 배경에 대해서 서술하였으며, III장에서는 자율신경환을 검출하기 위해 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대해서 서술하였다. IV장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 실제 실험을 통해 얻어진 결과 및 분석한 내용을 서술하였고, 끝으로 V장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 서술하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 홍채의 특징

홍채(Iris)는 Fig. 1과 같이 눈의 동공과 공막 사이에 존재하는 영역으로 외부로부터 안구 내에 입사하는 빛의 양을 조절하는 조리개와 같은 역할을 하는 눈의 근육조직이다. 홍채는 한 층의 얇은 내피 세포들로 이루어져 홍채의 외곽을 둘러싸고 있는 내피, 신경섬유, 혈관, 림프관과 불규칙하고 커다란 결합 조직 섬유들로 이루어진 기질 및 1mm 정도 두께의 불수의 근육 섬유 묶음으로 이루어진 근육조직과 홍채를 지탱하는 역할을 하는 최하부의 세포막 및 세포막 위에 놓여 있는 색소층 등으로 이루어져 있다. 홍채에는 수천 개의 신경 섬유가 포함되어 있다. 이러한 신경 섬유는 시신경, 시신경절, 그리고 척수를 통해 사실상 인체의 모든 신경으로부터 정보를 전달 받으며, 신체에서 일어나는 화학적, 물리학 변화에 대한 정보가 섬유조직의 형태를 변화시키게 된다. 따라서 홍채의 특징과 변색, 짜임새 그리고 기타 홍채의 여러 가지 변화들을 분석하여 장부 기관의 건강상태, 노폐물이나 외부에서 흡입한 독소의 축적 정도와 축적부위, 신체의 체질구별을 할 수 있다. 즉, 홍채에는 신체의 강점 및 약점의 제반 사항이 나타나 있기 때문에 홍채에 나타난 여러 가지 형태 및 징후를 분석하여 현재 신체 내 어느 특정부위의 건강 변화 상태를 알아내고, 이를 치료하거나 혹은 장애 나타날 이상을 조기에 진단하고 이를 방지할 수 있다(Adler, 1965), (Bamer, 1996).

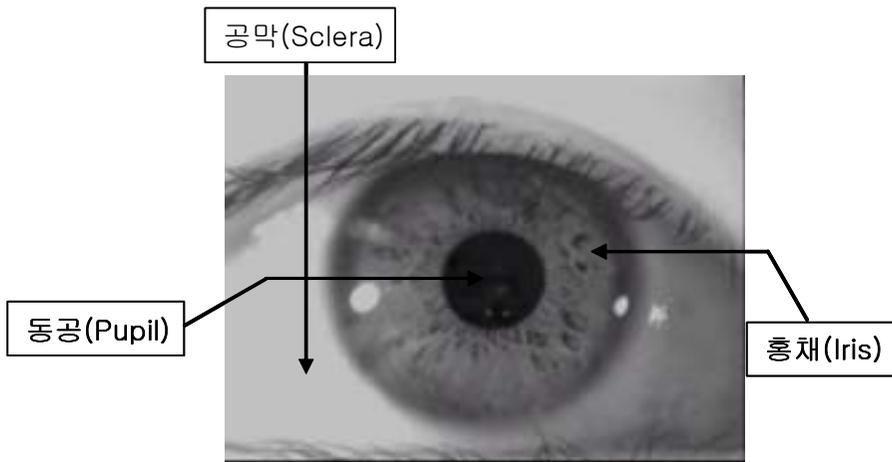


Fig. 1 An example of human eye

2. 자율신경환

눈동자의 중심에 동공이 있다. 이 동공은 빛의 밝고 어두움에 따라서 그 크기가 변한다. 동공 가장자리에서부터 바깥쪽으로 향하여 3분의 1정도 나아가면서 동공과 눈동자 사이에 울타리와 비슷한 모양의 막이 둥그렇게 형성되어 있다. 이 선을 자율신경환이라고 하며 대개 3세에서 5세 사이에 형성된다. 자율신경환을 중심으로 신체의 모든 조직들이 유기적으로 결합되어 있으며, 자율신경환의 모양과 동공으로부터의 거리를 통해 소화기관의 상태를 파악할 수 있다. 건강한 사람의 자율신경환 모양은 동공으로부터 1/3정도의 위치에 존재하며, Fig. 2와 같이 거의 원형에 가까운 형태를 이룬다. 만약 소화기관의 장애가 있는 경우, 자율신경환의 모양이 변형될 뿐 아니라 동공에서의 거리가 변화하게 된다.

또한 홍채 영역은 Fig. 3과 같이 자율신경환을 기준으로 내부 영역인 동공 영역과 외부 영역인 모양체 영역으로 나뉘게 된다. 모양체 영역은 사람들 간에 모양이 비슷하고 일정할 뿐 아니라 조명의 영향을 크게 받는 부분이기 때문에 고유한 특징을 추출하기가 어렵고, 이로 인해 인식률에 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 그러므로 인식률의 정확성을 높이기 위해 자율신경환 경계를 기준으로 내

부 영역인 동공 영역을 분리하는 전처리 과정을 수행하는 방법이 연구되고 있다.

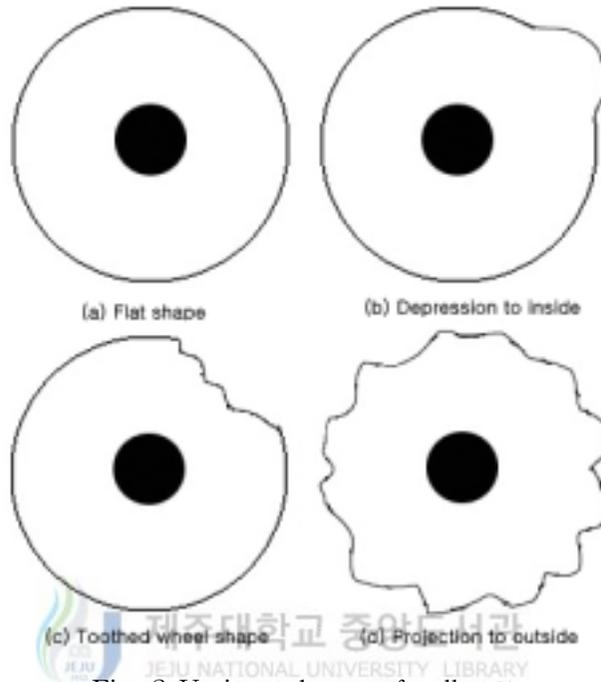


Fig. 2 Various shapes of collaratte



Fig. 3 Cross section of iris

3. 홍채 영역 검출 알고리즘

일반적으로 홍채는 원의 형태이므로 동공과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 내부 경계와 공막과 홍채의 경계에 해당하는 홍채 외부 경계를 검출함으로써 가능하다. 홍채 내·외부 경계 검출은 동공 및 홍채의 중심과 반지름의 결정을 통해서 이루어지며, 일반적으로 원형 경계 검출기(Circular edge detector)를 이용한 방법(Daugman, 1993), 허프 변환(Hough transform)을 이용한 방법(Wildes, 1997), 템플릿 매칭(Template matching)을 이용한 방법(Degn, Lai, 1997), Bisection을 이용한 방법(이, 2001) 등이 사용되고 있다.

1) 원형 경계 검출기를 이용한 방법

Daugman이 제안한 방법은 눈 영상에서 원형 방향으로 성분들을 적분한 후 아래의 (식 1)과 같은 경계 연산자를 사용하여 그 값의 변화가 큰 지점을 경계로 결정하는 방법으로 동공, 즉 홍채의 내부 경계를 찾고 같은 방법을 이용하여 홍채 외부 경계를 찾는 방법이다.

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right. \\ & \left. G_{\sigma}(r) = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \right. \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, * 는 컨벌루션(convolution)을 의미하고 $I(x, y)$ 는 입력 영상, (x_0, y_0) 은 중심 좌표, ds 는 반지름이 r 인 원주, $G_{\sigma}(r)$ 는 가우시안 특성을 갖는 스무딩(smoothing) 함수를 각각 나타낸다. 중심 (x_0, y_0) 와 반지름 r 을 변화시켜가면서 각 중심과 반지름에 의해 만들어지는 원의 둘레를 따라 화소들의 Gray level 값들을 더하고, 반지름이 변화하면서 원주의 gray level 값의 변화가 가장 큰 곳을 홍채의 내부 경계와 외부 경계로 정의한다. 잡음의 영향으로 생기는 국부 최대

값(local maxima)의 영향을 제거하기 위해 반지름 방향으로 가우시안 블러(gaussian blur) 함수를 사용하며, 변화량의 최대 지점을 찾으면 가우시안의 폭(gaussian scale)을 점점 작게 하는 반복적인 방법을 통해 정확한 경계를 찾을 수 있다.

2) 허프 변환(Hough transform)

허프 변환(Hough transform)은 Wildes가 제안한 방법으로 2차원 영상 공간을 물체의 특성을 볼 수 있는 파라미터 공간으로 변환하여 물체를 검출하는 방법이다. 우선 gray 영상을 경계 연산자를 이용하여 이진영상으로 변환한다. 동공을 원으로 가정할 경우 (식 2)와 같은 원의 방정식은 파라미터 공간의 방정식 (3)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r \quad (2)$$

$$a = x - r \cos \theta$$

$$b = y - r \sin \theta$$



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(3)

경계 영상의 각 화소에 대해 3차원의 파라미터 공간으로 변환시키고 전체 화소에 대해 누적시킨다. 과정을 반복해서 수행하면 최고의 값을 갖은 원이 나타나게 되는데, 이 때 사용된 파라미터가 중심 (x_0, y_0) 과 반지름 r 이 되는 것이다. 허프 변환을 이용한 방법은 영상 잡음이나 동공이 눈꺼풀에 가려져도 동공을 잘 찾아낸다는 장점이 있으나 계산의 복잡성과 계산 량이 많다는 단점이 있다.

3) 템플릿 매칭(Template matching)

원형 템플릿은 원형 템플릿의 반지름과 중심 좌표가 변화됨으로써 원형인 동공과 홍체에 정합하는 방법이다. 원형 템플릿은 에너지 값에 의해 변형(수축·팽창·이동)이 되는데 빠르고 효율적인 변형을 하기 위해 Fig. 4와 같이 원형 템플릿 주변에 작은 윈도우를 설정하고 (식 4)를 통해 계산된 윈도우의 에너지 값에 따라 템플릿의 수축, 팽창, 이동이 발생하게 된다.

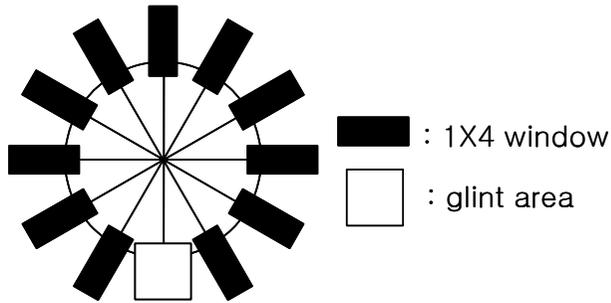


Fig. 4 Circle template

$$f_w = \left(\frac{\sum \text{원도우 내의 각 화소 값}}{\text{원도우 내의 화소 수}} \right) - \left(\frac{255}{2} \right) \quad (4)$$

원형 템플릿을 이용한 방법은 주로 이진화 영상에 대해 적용되는데 정확한 원을 이진화하는 문턱치 값과 템플릿의 초기 위치에 따라 성능이 결정된다.

4) Bisection

가능한 짧은 시간 내에 다수의 영상에서 최적의 원 영상을 검출하기 위해 사용되는 방법으로, (식 5)과 같이 원의 두 점을 지나는 선분을 수직 이등분하는 직선은 항상 원의 중심을 지나는 성질을 이용하여 직선이 지나가는 점을 누적시켜 가장 많이 누적된 점이 원의 중심이라고 결정하는 방법이다. 빠른 시간에 홍채 경계를 검출할 수 있다는 장점이 있지만, 전처리(preprocessing) 과정이 필요하고 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

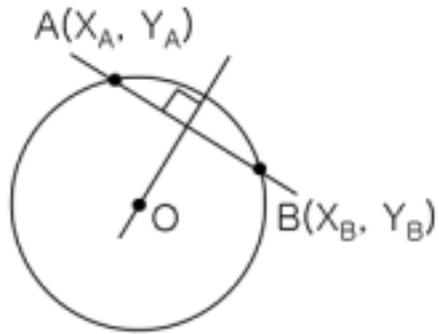


Fig. 5 Bisection method

$$y = -\frac{(X_A - X_B)}{(Y_A - Y_B)}x + \frac{(X_A^2 + Y_A^2 - X_B^2 - Y_B^2)}{2(Y_A^2 - Y_B^2)} \quad (5)$$

III. 자율신경환 영역 검출 알고리즘

본 논문에서는 자율신경환이 존재하는 관심 영역(Region of interest) 즉, 홍채 영역을 눈 영상에서 분리하기 위해 이진화(Binary) 기법과 형태학적(Morphology) 연산, gray level의 변화율을 이용한 방법을 제안하여 사용한다.

우선 히스토그램을 이용하여 영상을 이진화 시키고, 형태학적 연산을 통해 대략적인 동공 영역을 검출한다. 검출된 동공 영역의 무게중심(Haralick, Shapiro, 1992), (Truscoco, Verri, 1998)을 구하고 이를 동공의 중심이라고 가정한다. 홍채의 중심과 지름을 알아내기 위해 동공과 홍채의 중심은 항상 정확하게 일치하지는 않지만 비슷한 위치를 갖는다는 특징을 이용하여, 찾은 동공의 중심에서 일직선상에 있는 화소들의 gray level 값의 차이를 비교하여 변화가 가장 큰 지점을 찾아 반경을 정규화하는 방법을 통해 홍채의 반경으로 결정하였다. 그리고 계산의 효율을 높이기 위하여 관심 영역을 축소하는 과정을 거친 영상을 극 좌표계(Polar coordinate) 영상으로 변환한다. 자율신경환 경계를 검출하기 위해 히스토그램 평활화(Histogram equalization)와 고주파 강화 필터링(Sharpening)을 이용한 전처리 과정을 수행한 다음 영상의 통계정보(statistical information)를 이용하여 최종적으로 자율신경환 영역을 검출한다.

1. 관심 영역 검출

1) 이진화

본 논문에서는 홍채 영상에서 홍채의 내부 경계 즉 동공 영역을 찾아내기 위해 이진화 기법을 사용한다. 이진화의 기본적인 접근방법은 문턱치 값 처리란 기법을 이용하는 것으로, 문턱치 값 처리란 영상을 전경과 배경으로 분류하기 위하

여 영상의 그레이 레벨 히스토그램(gray level histogram)을 그린 후에 적절한 문턱치 값(Threshold value)을 정해서 그 값보다 작은 gray level 값을 가지는 화소들과 큰 gray level 값을 가지는 화소들로 화소들을 구분해서 전경과 배경으로 구성된 새로운 2개의 gray level 값으로 그려진 이진영상을 얻어내어 영상의 전경을 배경으로부터 분리해내는 영상 처리 기법 중의 하나이다.

gray 영상을 입력으로, $g(i, j)$ 를 화소 (i, j) 의 gray level 값, $b(i, j)$ 를 이진화된 값이라고 하면 이진화 방법은 (식 6)과 같은 간단한 알고리즘을 이용한다. T 는 영상 전체에 대하여 획일적으로 적용되는 문턱치 값이다.

$$b(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } g(i, j) \geq T \\ 0, & \text{if } g(i, j) < T \end{cases} \quad (6)$$

일반적으로 동공의 경우 질환이 있는 경우를 제외하고 화소의 gray level 값은 다른 영역에 비해 가장 어두운 특징을 갖는다. 따라서 문턱치 값을 이용해 영상을 이진화 할 경우 대략적인 동공 영역을 쉽게 검출할 수 있다. 문턱치 값 설정은 Fig. 6과 같이 히스토그램으로부터 최초로 나타나는 극소 값을 문턱치 값 T 로 자동으로 설정하도록 하였다. Fig 7은 원 영상과 이진화를 수행한 후의 영상이며, 동공 영역이 약간의 잡음이 포함되어 있지만 거의 근사하게 추출됨을 볼 수 있다.

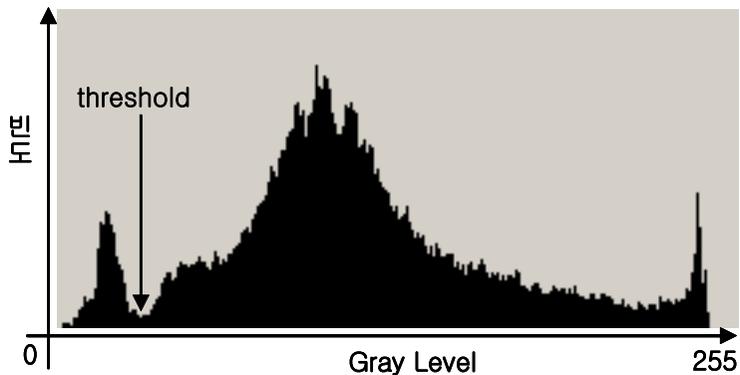


Fig. 6 Establishment of threshold value

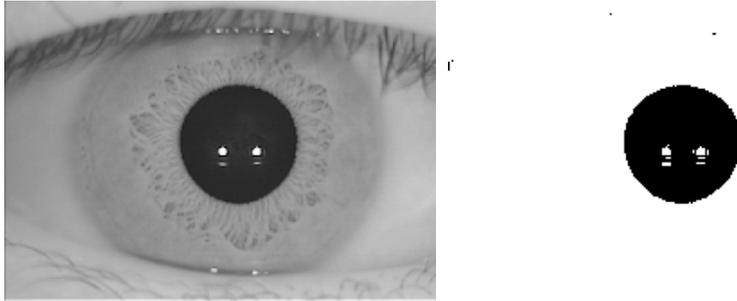


Fig. 7 Original eye image(left) and thresholded image(right)

2) 형태학적 연산

이진화 과정을 통해 대략적인 동공 영역을 검출해 낼 수 있었지만 아직까지는 눈썹과 같은 불필요한 잡음이 영상 내에 존재하는데, 이러한 잡음은 동공의 중심을 계산하는 과정을 복잡하게 만드는 요인이 되므로 본 논문에서는 형태학적 연산 기법 중에서 이진영상에 대한 침식(Erosion) 연산과 팽창(Dilation) 연산을 이용하여 잡음을 제거하였다.



(1) 침식(Erosion) 연산

침식 연산은 배경에 대해 배경을 확장시키고 물체의 크기를 축소하는 역할을 한다. 침식 연산은 주로 물체와 배경사이의 스파크 잡음 제거와 같이, 전체 영상에서 아주 작은 물체를 제거하거나 전체 영상에서 배경확장에 따른 물체를 축소하는 역할을 한다. 이를 수학적으로 표현하면 다음의 (식 7) 같다.

$$A \ominus B = \{x \mid (B)_x \subseteq A\} \quad (7)$$

이진영상에서 침식 연산을 수행하는 과정을 살펴보면, 미리 정의된 구조요소를 원 이미지상에서 스캔하면서 구조요소 상에서 1인 영역이 모두 A 영역 안에 포함되는 경우 그 지점의 화소는 1로 값을 지정하고 아니면 0을 지정한다. 다음 Fig. 8은 원 이미지 A에 구조요소 B를 적용시켜 침식 연산을 구현한 예를 나타내고 있으며 Fig. 10과 같이 일반적으로 이진영상에서 사용되는 침식 연산 마스크

크를 사용하였다.

앞서 이진화 연산을 수행한 영상들을 대상으로 침식 연산을 수행한 결과 평균적으로 연산을 1회 정도 수행했을 경우 잡음이 제거된 동공으로 추정되는 영역을 추출할 수 있었기 때문에 연산 수행 횟수를 1로 설정하여 자동으로 침식 연산이 수행될 수 있도록 하였다. Fig 10은 Fig. 9 연산 마스크를 이용하여 침식 연산을 실험한 결과 영상이다.

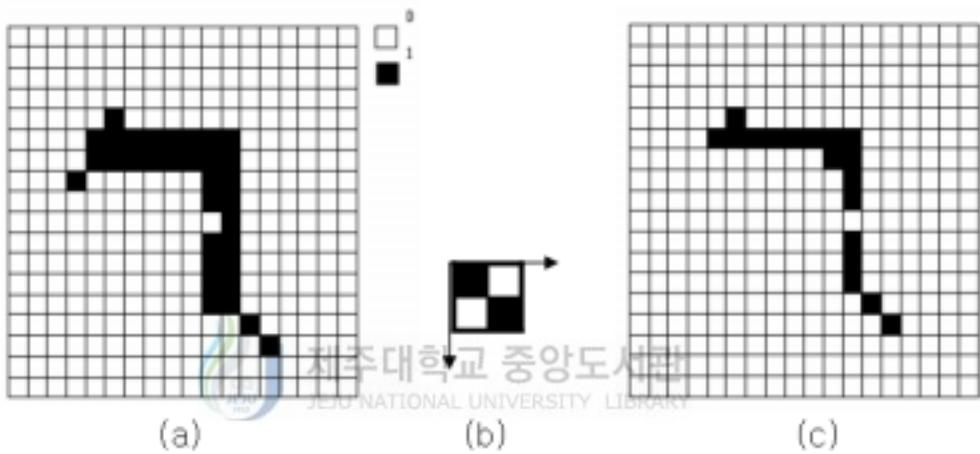


Fig. 8 Example of binary erosion

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Fig. 9 Erosion mask



Fig. 10 Erosion operation

(2) 팽창(Dilation) 연산

팽창연산은 물체의 최외각 화소를 확장시키는 역할을 한다. 그러므로 물체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다. 팽창연산은 물체 안의 홀(hole)과 같은 빈 공간을 메우는 역할을 하거나 서로 짧은 거리만큼 끊어진 영역을 연결시켜 준다. 이를 수학적으로 표현하면 다음의 (식 8)와 같다.

$$A \oplus B = \{x \mid (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (8)$$

이진영상에서 팽창 연산의 수행과정은 침식 연산의 과정과 동일하지만, 미리 정의된 구조요소를 원 이미지상에서 스캔하면서 구조요소 상에서 1인 영역이 하나라도 A 영역에 존재하면 그 지점의 화소는 1로 값을 지정하고 아니면 0을 지정하는 차이를 갖고 있다. 다음 Fig. 11은 원 이미지 A에 구조요소 B를 적용시켜 팽창 연산을 구현한 예를 나타내고 있다.

Fig. 12는 본 논문에서 사용된 팽창 연산에 사용된 마스크이며, 이전 단계에서 침식 연산을 거친 영상에 대해 팽창 마스크 연산을 적용한 결과 평균적으로 2회의 연산을 수행하였을 때 Fig 13과 같이 깨끗한 동공영역을 추출할 수 있었다.

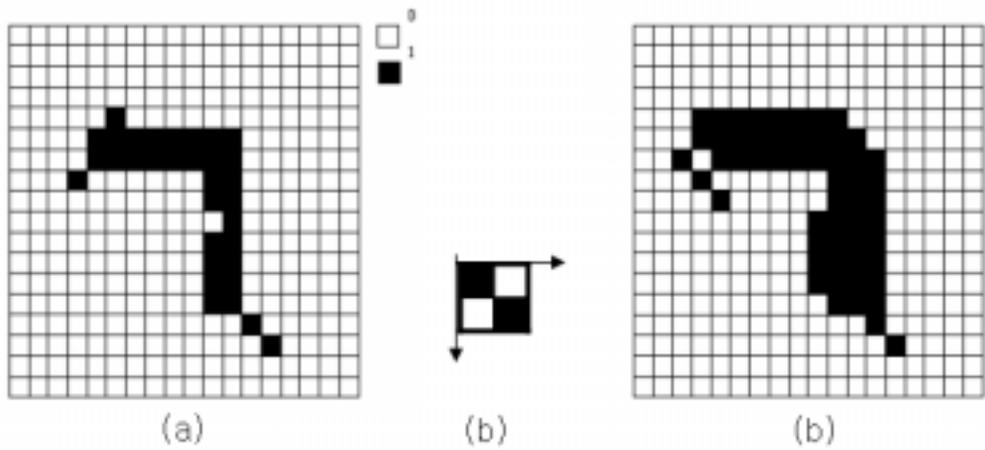


Fig. 11 Example of binary dilation



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Fig. 12 Dilation mask



Fig. 13 Dilation operation

3) 무게 중심

무게 중심은 물체의 고유한 특성을 나타내는 서술자로 원의 경우 무게중심은

원의 중심이 된다. 앞선 단계에서 형태학적 연산을 이용하여 동공 영역이 추출하였고, 동공 영역은 거의 원에 가깝다는 성질을 이용하여 무게 중심을 이용하여 동공의 중심을 찾는 방법을 사용하였다. 우선 동공의 중심을 구하기 위해서는 동공 영역의 면적을 계산하는 과정이 선행되어야 한다. 일반적으로 영상에서의 면적은 영역을 이루는 화소의 개수로 표현될 수 있으며, 면적을 구하는 공식은 아래 (식 9)로 표현된다(강, 하, 2003), (이, 2001).

$$A = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} f(i, j) \quad (9)$$

면적을 구했으면 동공의 중심 좌표를 찾아내는 과정을 수행할 수 있는데 중심 좌표 $C(x, y)$ 의 x, y 값은 다음과 같은 (식 10)을 이용하여 구할 수 있다. x_i 와 y_i 는 동공 영역에 대한 구성 화소의 세로와 가로 영상 좌표이다.

$$x = \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{N-1} x_i, \quad y = \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{N-1} y_i \quad (10)$$



Fig. 14 Center of pupil

4) 홍채 영역 및 관심 영역 검출

동공의 중심과 홍채의 중심이 같지 않지만 비슷한 곳에 위치한다는 특징을 바탕으로 홍채 내부 경계 검출 단계에서 구한 동공의 중심에서 가로축 방향으로 일직선상에 있는 화소들의 gray level의 변화량을 조사하여 변화가 가장 큰 두

지점을 정규화 함으로써 홍채 내부 경계로 정의하였다. 다시 홍채 내부 경계로부터 좌·우측 방향으로 gray level의 변화량을 조사하여 변화가 가장 두드러지게 나타나는 두 지점을 정규화하여 홍채 외부 경계로 정의하였다.

영상에서 세로축을 고려하지 않은 이유는 눈썹과 눈꺼풀의 영향으로 gray level 값의 변화가 일정하지 않기 때문이다. 그리고 자율신경환이 대략적으로 홍채 내부 경계에서 1/3 지점에 위치한다는 사실을 바탕으로 이전 단계에서 동공 중심으로부터의 거리 중에서 2/3까지 해당되는 거리를 갖는 영역을 최종적인 관심영역으로 설정하였다. 아래 Fig. 15는 gray level 변화량을 이용하여 홍채의 내부 및 외부 경계를 검출한 결과 영상이며, Fig. 16은 눈 영상에서 홍채 영역을 분리한 영상과 최종 관심 영역을 설정한 그림이다.

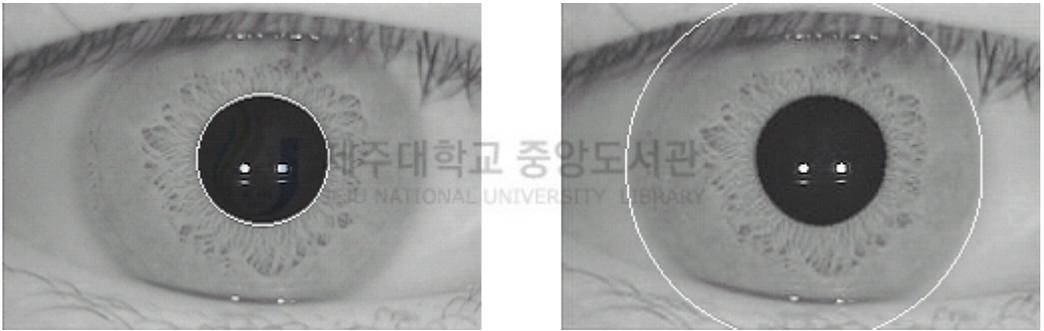


Fig. 15 Inner boundary(left) and outer boundary(right)



Fig. 16 Extracted iris area(left) and final region of interest(right)

2. 자율신경환 영역 검출

앞선 단계를 통해 검출된, 자율신경환이 존재하는 관심영역은 원형으로 이루어져 있다. 이 경우 자율신경환 경계를 검출하기까지 많은 시간을 필요로 한다는 단점을 지니게 되므로, 본 논문에서는 직각 좌표계(Cartesian coordinate)를 극좌표계(Polar coordinate)로 변환하여 처리하였다.

1) 좌표계 변환

공간상의 한 물체 또는 한 점의 위치는 일반적으로 좌표로써 표시되며, 영상 처리 분야에서는 좌표계간의 좌표변환이 자주 이루어진다. 여기서 위치란 어느 좌표계에 있어서 다른 점들과 어떤 기하학적인 상관관계를 갖는가를 의미하는 것으로, 일반적으로 그 좌표계의 특정 점 또는 특정 선으로부터의 길이와 방향을 매개로 하여 표현한다. 이때 어느 좌표계의 기준이 되는 고유한 한 점을 원점(origin), 매개가 되는 실수(어떤 길이, 또는 방향)를 좌표(Coordinate)라 한다.

(1) 직각 좌표계(Cartesian coordinate)

직각 좌표계는 서로 직각하는 2-3개의 좌표축에 의해 정의된다. Fig. 17에서 보는 것과 같이 2차원 직각 좌표계는 두 개의 서로 직각하는 축(X 와 Y)으로 구성되어 있다.

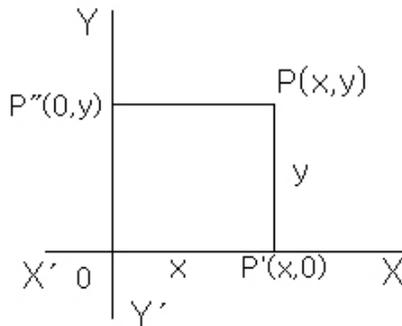


Fig. 17 Cartesian coordinate system

직각 좌표계는 평면상에 존재하는 점의 위치를 표시하는데 있어 가장 대표적인 좌표계이다. 평면위에 한 점 O를 원점으로 정하고, O를 지나고 서로 직교하는 두 수직직선 XX' , YY' 를 좌표축으로 삼는다. 평면상의 한 점 P위의 위치는 P를 지나며 X, Y축에 평행한 두 직선이 X, Y축과 만나는 P' 및 P''의 좌표축 상 선분 $OP' = x$, 선분 $OP'' = y$ 로 나타낼 수 있다. 즉 평면상 한 점 P의 위치는 두 개의 실수의 순서쌍(x, y)에 대응하며, 역으로 순서쌍 (x, y) 가 주어지면 두 좌표축으로부터 P의 위치가 결정된다.

(2) 극 좌표계(Polar coordinate)

2차원 극 좌표는 평면상 한 점과 원점을 연결한 선분의 길이와 원점을 지나 는 기준선과 그 선분이 이루는 각으로 표현되는 좌표이다.

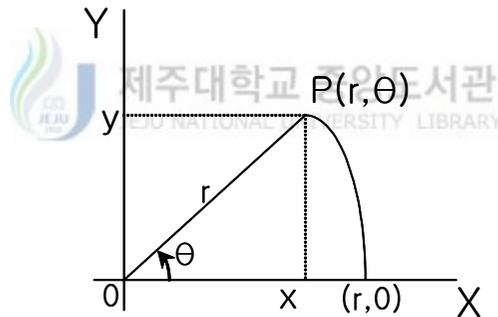


Fig. 18 Polar coordinate system

Fig. 18에서 r 은 원점에서 점 P까지의 거리를, θ 는 수평축으로부터 반시계 방향으로 측정한 방위각을 보여준다. 따라서 점 P의 위치는 (r, θ) 로 표시할 수 있는데, r 과 θ 를 2차원 극 좌표라 부른다. 2차원 극 좌표와 2차원 직각 좌표 사이의 관계는 다음의 (식 11)와 (식 12)같이 정리될 수 있다.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} , \theta = \tan^{-1} \left[\frac{y}{x} \right] \quad (11)$$

$$x = r \cdot \cos\theta, \quad y = r \cdot \sin\theta \quad (12)$$

본 논문에서 반지름 r 은 홍채 내부 경계에서 외부경계까지의 반지름 값을 의미하고, 극 각 θ 는 동공 중심점으로부터 방사방향으로의 중심각을 의미하며 $0 \leq \theta < 2\pi$ 의 범위를 갖는다. Fig. 19는 추출한 관심영역을 극 좌표계로 변환하고 이를 직사각형으로 도시한 결과 영상이다.

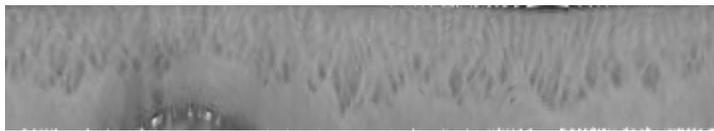


Fig. 19 Transformed image to polar coordinate

2) 전처리

(1) 히스토그램 평활화(Histogram equalization)

극좌표계로 표현된 관심 영역은 gray level 값의 분포가 고르지 못하기 때문에 이미지처리응답을 개선시키기 위한 방법으로 히스토그램 평활화를 적용하였다. 히스토그램 평활화는 다음과 같이 3단계를 거쳐 처리된다.

- I. 히스토그램을 이용한 gray level 값의 빈도수를 계산하고,
- II. 구한 빈도수를 이용하여 축척히스토그램 값을 구하고 정규화 시킨다.
- III. 정규화된 축척 히스토그램을 gray scale 사상 함수로 이용하여 gray level 값을 mapping한다.

여기서 축척 히스토그램이란 1단계에서 구한 gray level 값의 빈도수를 계속 더해나가 축척한 값을 말하는데, 예를 들어 gray level 값 1에서의 축척 히스토그램은 gray level 값 0의 빈도수와 gray level 값 1의 빈도수를 더한 값이다. 이렇게 구해진 축척히스토그램은 (식 13)에 의해 정규화 된다.

$$k_i = \frac{g_{\max}}{n_i} H(i) \quad (13)$$

여기서, n_i 는 화소의 총 개수이고 g_{\max} 는 gray level의 최대 값이고 $H(i)$ 는 축적히스토그램이다. Fig. 20은 위에서 정의된 히스토그램 평활화 과정을 수행된 결과 영상이다.



Fig. 20 Image processed histogram equalization

(2) 고주파 강화 필터링

디지털 영상 처리 분야에서 영상에서 상세한 부분들을 더욱 강조하는 효과를 만들기 위해 사용되는 방법으로 고주파 강화 필터링 또는 샤프닝(Sharpening)라고도 한다. 영상에서 고주파를 강화시키게 되면 전체적인 대비 효과를 증대시킨다. 샤프닝에 사용되는 회전 마스크는 마스크의 중심에서는 양의 값을 가지며 바깥 경계는 음의 값을 갖게 되며 마스크의 모든 계수 값은 0이 된다.

본 논문에서는 샤프닝을 위한 다양한 마스크가 중에서 Fig. 21로 정의되는 마스크를 사용하였으며, 고주파 강화 필터링 과정을 수행한 결과 Fig. 22와 같이 영상에서 명암 대비가 확연하게 일어남을 보여주고 있다.

$-\frac{1}{9}$	$-\frac{1}{9}$	$-\frac{1}{9}$
$-\frac{1}{9}$	$\frac{8}{9}$	$-\frac{1}{9}$
$-\frac{1}{9}$	$-\frac{1}{9}$	$-\frac{1}{9}$

Fig. 21 3×3 Sharpening filter



Fig. 22 Image processed sharpening

3) 통계정보를 이용한 자율신경환 영역 검출

영상에서 통계정보를 이용하여 윤곽선을 검출하거나 영역을 분할하는 연구가 많이 진행되고 있다. 통계정보란 최대 값(max value), 최소 값(min value), 평균(mean), 분산(dispersion), 표준편차(standard deviation) 등과 같이 영상에 존재하는 특징들을 분류하기 위해 사용되는 정보들을 의미한다.

본 논문에서는 극좌표계로 변환된 직사각형으로 표현되어진 영상에서 통계정보를 계산하여 자율신경환의 영역 경계를 찾기 위해 다음과 같은 단계를 수행하였다.

I. 우선 가로 길이가 360, 세로 길이가 3인 윈도우(window)를 정의하고, 각 윈도우 내에 포함된 화소들을 계산하여 평균값을 설정한다.

II. 계산된 평균값을 이용하여 누적평균값을 구한다.

III. 누적평균값을 이용하여 인접 영역 사이의 증가율을 구하고, 증가율의 표준편차를 계산하여 표준편차가 최초 0이 되는 지점을 자율신경환 영역으로 설정한

다.

위의 단계에서 평균값을 구하는 이유는 각 윈도우에서의 평균값은 해당 윈도우에서 가장 많이 나타나는 화소가 되며, 윈도우에 포함된 화소들과 평균값을 비교하는 과정을 통해 해당 영역에 속하는지의 여부를 판단하게 되기 때문이다.

그리고 전처리 단계인 히스토그램 평활화와 고주파 강화 필터링 과정을 거친 영상은 전반적으로 gray level 값이 255와 0 근처에 집중되어있기 때문에, 통계정보 중에서 잡음에 덜 민감하고 각각의 영역에서의 변화량을 확인할 수 있는 누적평균값의 증가율 즉, 누적평균율(cumulative mean rate)과 누적평균율의 표준편차를 이용하였다. 누적평균율과 표준편차는 다음의 (식 14)와 (식 15)를 이용하여 얻어낼 수 있다.

$$I_n = M_n - M_{n-1} \quad \text{for } n = 2, 3, 4, \dots, W \quad (14)$$

$$S = \frac{\sum_{k=i}^{i+2} \left(\frac{1}{2} \sum_{l=i}^{i+2} I_l - I_k \right)^2}{2} \quad \text{for } i = 2, 3, 4, \dots, W-2 \quad (15)$$

W 는 이미지의 크기가 $M \times N$ 일 경우, 세로 크기인 N 을 의미하고 M_n 은 직사각형 이미지의 아래에서 위의 방향으로 n 번째 평균값을 나타낸다. Fig. 23은 식(14)를 이용하여 극좌표계의 사각형 모양으로 변환된 Fig. 22의 영상의 누적평균율에 대한 그래프이며, Fig. 24에서 보듯이 누적평균율의 표준편차가 동공으로부터 일정 거리에서 계속하여 0을 유지하는데 이때 최초로 0이 나타나는 지점을 자율신경환 영역으로 설정한다.

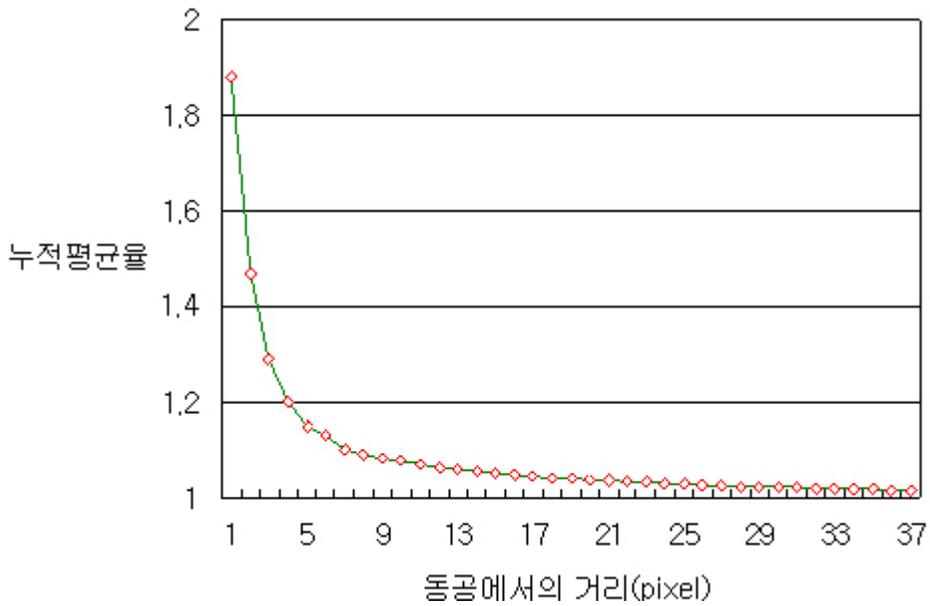


Fig. 23 The rate of the cumulative mean value

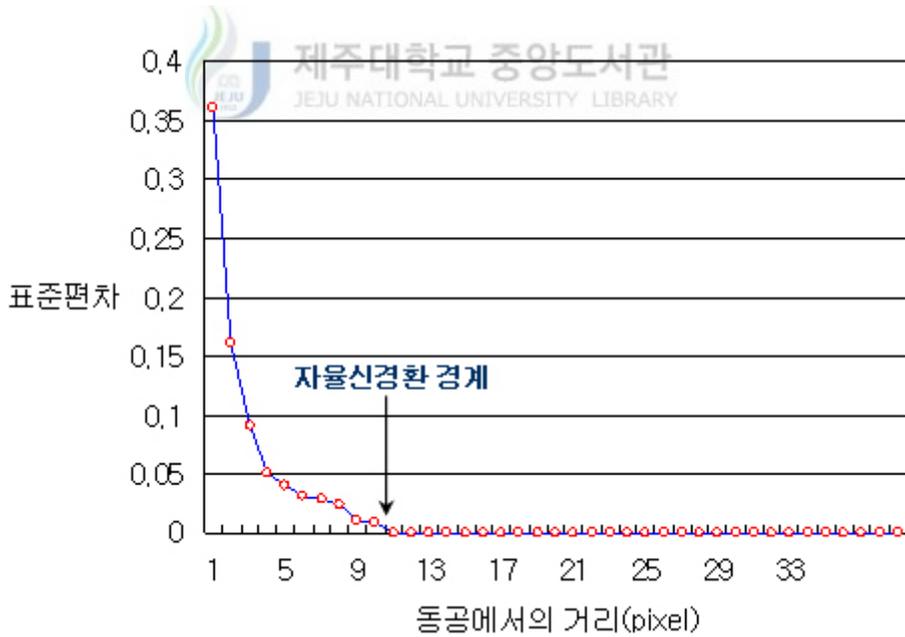


Fig. 24 The value of standard deviation

Fig. 25는 r , θ 로 표현된 자율신경환 경계를 (식 12)을 이용하여 직각 좌표계로

변환한 결과 영상이다.

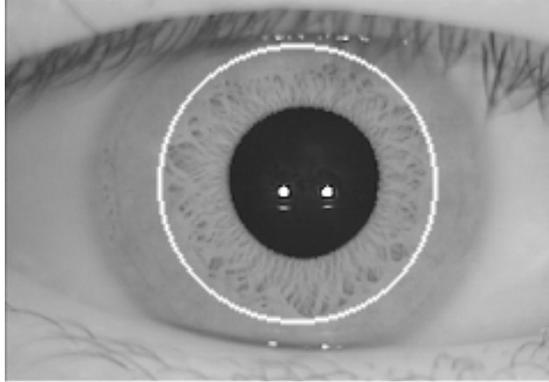


Fig. 25 Extracted collarette boundary

3. 제안 알고리즘 흐름도

본 논문에서 제안하는 홍채 영상에서 자율신경환 영역 검출에 관한 알고리즘을 Fig. 26과 같이 구성하였다.

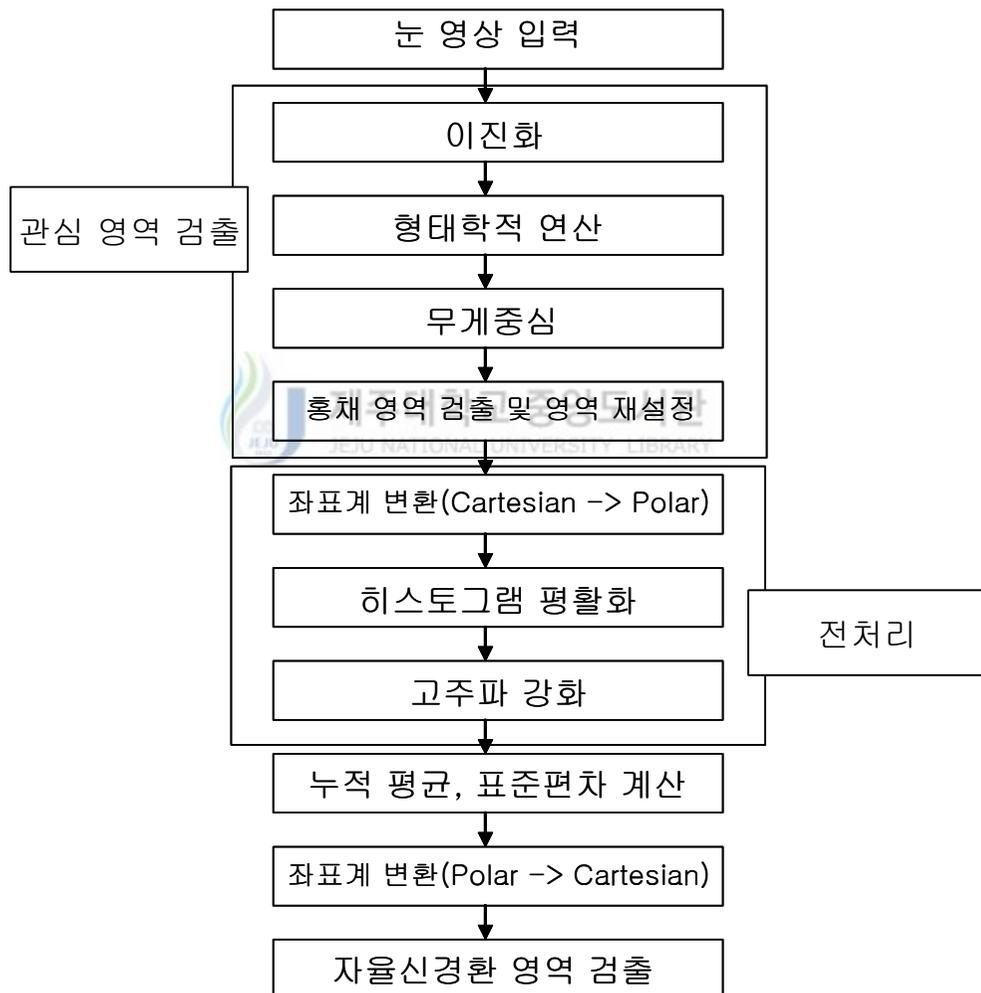


Fig. 26 Suggested algorithm

IV. 실험 및 결과 분석

본 장에서는 3장에서 제안한 알고리즘에 대한 여러 가지 실험 및 성능 확인과 분석에 대하여 논한다. 형태학적 연산과 이진화 기법을 통해 관심 영역인 홍채 부분을 영상에서 분리해 내고, 관심 영역에 존재하는 자율신경환 영역을 검출하기 위해 사용된 알고리즘의 결과를 확인한다.

1. 실험 환경

본 논문에서 제안된 자율신경환 영역 검출 시스템의 결과를 확인하기 위해 흑백 CCD 카메라를 통해 획득한 Fig. 27과 같이 눈 영상 이미지 120개를 대상으로 실험하였으며 영상의 크기는 320×240의 크기로 정규화 시켰다. Table. 1은 자율신경환 영역 검출 시스템의 실험 환경을 요약한 것이다.

Table. 1 Simulation environments

시스템 사양	Pentium IV 1.7GHz, 256MB RAM
운영체제	Windows XP
프로그래밍 언어	Visual C++ 6.0
입력 영상의 크기	320×240
입력 영상의 해상도 및 파일 포맷	8bit gray Scale, BMP

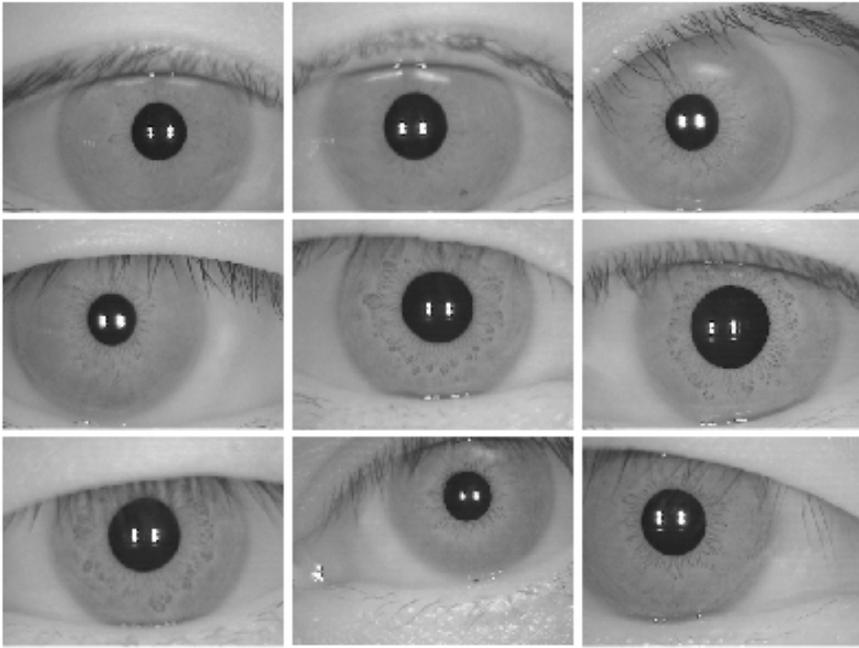
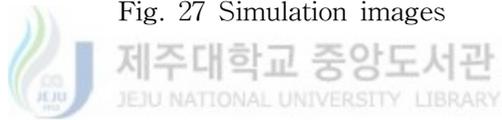


Fig. 27 Simulation images



2. 실험 결과 분석

우선 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서 1차 관심 영역인 홍채 영역을 추출하기 위해 사용된 방법과 현재 홍채 인식 분야에서 대표적으로 사용되고 있는 Daugman이 제안한 원형 경계 검출기(Circular edge detector)를 사용한 방법을 비교 분석하였다.

Table. 2는 원형 경계 검출기를 이용하여 홍채 영역을 검출하는데 소요된 시간과 제안 알고리즘을 적용하여 홍채 영역을 검출하는데 소요된 시간을 비교한 결과를 보여주고 있다.

Table. 2 Time required for detecting pupil and iris boundary

	원형 경계 검출기를 이용한 방법	제안 알고리즘
동공 검출	2.46 sec	0.69 sec
홍채 검출	0.57 sec	0.26 sec
전체 검출 시간	1.515 sec	0.475 sec

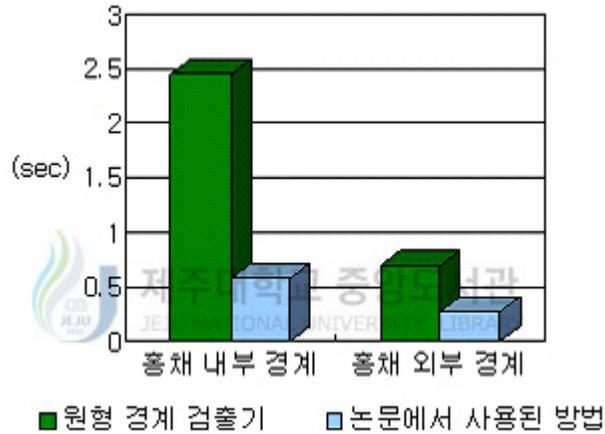


Fig. 28 Time required for detecting pupil and iris boundary

Table. 3는 원형 경계 검출기 사용하여 홍채 영상을 검출한 비율과 제안 알고리즘을 적용하여 홍채 영역 및 자율신경환 영역을 검출한 비율을 나타내주고 있다.

Table. 3 Final success rate of finding the boundaries

	원형 경계 검출기를 이용한 방법	제안 알고리즘
홍채 내부 경계	98.33%	99.16%
홍채 외부 경계	97.50%	92.50%
자율신경환 경계	·	94.16%
최종 검출 결과	·	94.96%

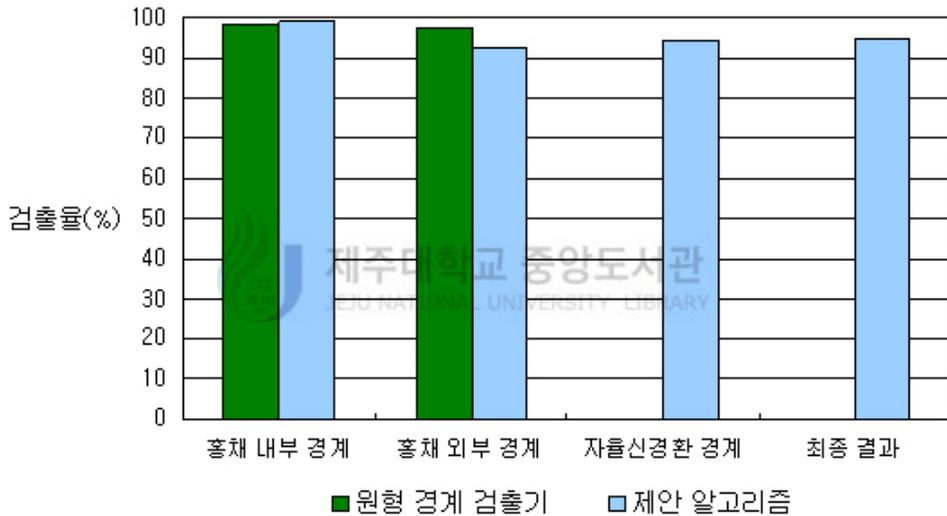


Fig. 29 Final success rate of finding the boundaries

위의 결과와 같이 본 논문에서 제안한 방법을 적용하였을 때에는 홍채 영역을 검출하는데 약 95.83% 정도의 검출율을 나타냄을 실험을 통해 확인하였다. 논문에서 제안하여 사용한 방법의 경우 홍채의 내부 경계를 검출하는 과정에서는 원형 경계 검출기를 이용한 것보다 속도 면에서나 검출 면에서 더 나은 성능을 보였다. 하지만 홍채의 외부 경계를 검출하는 과정에서 홍채의 중심을 기준으로 횡축의 변화량만을 고려하였기 때문에 원형 경계 검출기보다는 빠른 속도로 홍채 영역을 검출할 수 있었지만, 전체 눈 영상에 대해서 gray level의 변화량을 이

용한 원형 경계 검출기보다는 검출율이 다소 낮음을 알 수 있었다.

논문에서 제안하고 있는 자율신경환 영역을 추출하는 알고리즘을 적용하였을 때 약 95% 정도의 검출율을 보였는데, 아래 그림들과 같이 입력된 눈 영상에서 눈꺼풀이나 눈썹이 동공을 가리고 있는 경우나 초점이 흐려지는 경우(Fig. 30), 조명에 의한 반사가 심할 경우(Fig. 31)에는 검출율이 다소 낮아졌지만, 눈 영상이 정상적으로 입력될 경우에는 경계 검출에 매우 뛰어난 성능을 보임을 실험으로 확인하였다.

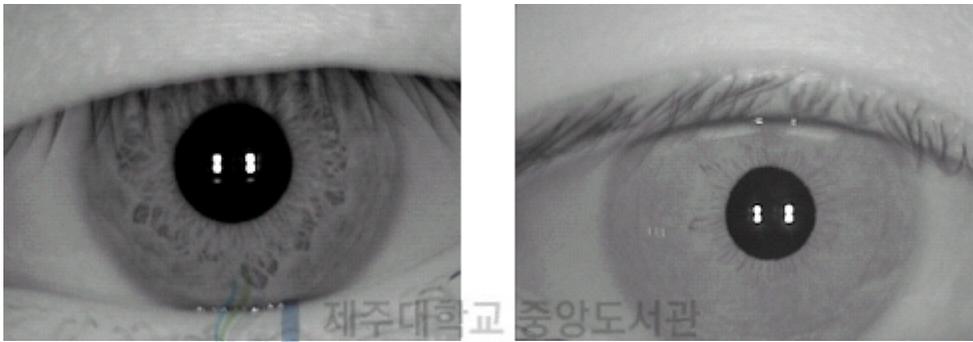


Fig. 30 Eyebrow(left) and camera being out of focus(right)

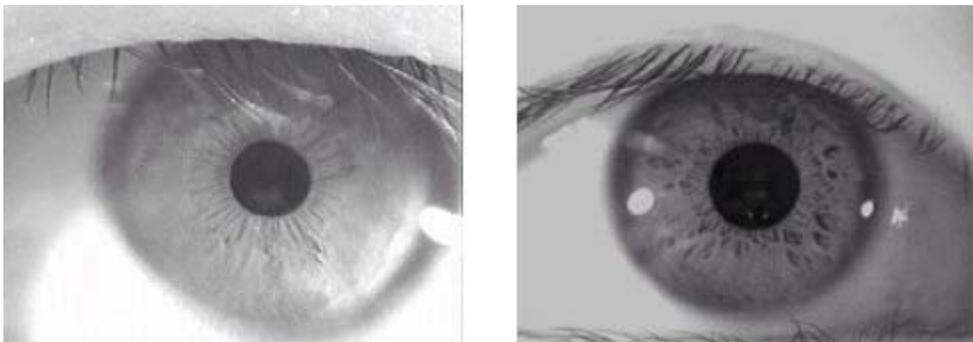


Fig. 31 Reflected light

V. 결 론

최근 정보기술의 발달과 컴퓨터 성능의 발전은 초기 컴퓨팅이 불가능하였던 다양한 분야에 적용되고 있으며, 특히 사람이 가지고 있는 신체적인 특징을 이용한 생체인식 기술의 응용이 확대되고 있다. 생체 인식 기술은 영상 입력 장치를 이용해 획득한 생체 시그널을 처리하여 개인이 갖는 신체 특징을 패턴으로 분류하고 데이터베이스에 미리 저장되어 있는 패턴과 비교하여 인식하는 기술이다. 이러한 생체 인식 분야에서 홍채 인식 분야는 사용자들의 직접적인 접촉이 없이도 신원을 확인할 수 있기 있고 외부로부터의 물리적인 자극이 없는 한 홍채에 존재하는 특징이 안정적이라는 장점 때문에 보안 분야에서 많이 활용되고 있으며, 홍채가 신경을 통해 뇌와 신체의 각 부위에 연결되어 있기 때문에 홍채에 존재하는 섬유조직을 분석하여 신체의 건강 상태나 유전적인 결함 등을 반영하기 때문에 건강 진단 분야에서도 많이 사용되고 있다. 홍채에 존재하는 여러 가지 특징들 중에서 자율신경환의 모양과 위치는 한의학 분야에서 병 진단에 보조 수단으로 이용되고 있으며, 개인의 신원을 확인하는 보안 시스템에서도 전처리를 위한 도구로 활용되고 있다.

본 논문에서는 자율신경환 영역을 효율적으로 검출하는 알고리즘을 제안한다.

우선 자율신경환이 존재하는 홍채영역을 검출하기 위해 이진화 및 형태학적 연산을 사용하여 동공을 검출하고 동공의 중심에서 가로 방향으로 좌우로 화소들의 gray level 값을 조사하여 변화가 가장 급격한 두 곳을 정규화하여 홍채 내부 경계로 설정하고 다시 홍채 내부 경계에서 바깥 방향으로 일직선상의 화소들의 gray level 값을 조사하여 변화가 큰 두 곳을 정규화 하여 외부 경계로 설정하였다. 그리고 자율신경환이 동공에서 약 1/3 지점에 있다는 사실을 근거로 홍채 영역의 2/3 영역만 관심 영역으로 설정하였으며, 계산상의 효율을 높이기 위해 r, θ 로 표현되는 극 좌표계로 변환시킨 후, 이를 직사각형으로 구성하였다.

직사각형 형태로 된 관심 영역에서 자율신경환 영역을 찾기 위해 히스토그램

평활화, 고주파 강화 필터링 등과 같은 전처리 과정을 시행하였으며, 3×360 의 윈도우(window)를 정의하여 윈도우 내의 평균(mean)을 구하고, 이를 토대로 누적 평균(cumulative mean) 값과 누적평균율을 계산한 후, 누적평균율의 표준편차(standard derivation) 표준편차가 최초 0으로 나타나는 지점을 자율신경환의 경계로 판단하였다.

본 논문에서 제안된 홍채 영역을 추출하는 알고리즘과 홍채를 추출하는 과정에서 대표적으로 사용되는 원형 경계 검출기의 처리 시간과 인식률을 비교한 결과, 홍채 내부 경계 검출에 있어서는 제안 알고리즘이 검출 시간이나 인식율 면에서 더 효율적이었으며, 홍채의 외부 경계를 검출하는 과정에서는 검출시간은 빠르지만 인식율은 다소 떨어졌음을 알 수 있었다.

논문에서 제안된 알고리즘을 이용하여 총 120장의 영상에 대해 실험한 결과 약 95%의 인식율을 얻어낼 수 있었다. 하지만 제안된 방법은 카메라의 초점이 빗나가거나, 홍채 영역이 눈꺼풀에 가려진 경우, 반사광이 유입된 경우에는 인식율이 다소 떨어지는 것을 확인할 수 있었기 때문에 영상 입력 받는 과정에서 이러한 경우를 최소화하는 전처리에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 그리고 본 논문에서는 자율신경환의 근사적인 경계만을 추정하고 검출하는 연구였지만, 실제 자율신경환 경계를 검출하는 알고리즘 개발이 이루어지고 열공(lacuna)이나 음와(crypts)와 같은 홍채의 다른 특징들을 효율적으로 검출할 수 있는 알고리즘이 개발된다면 홍채를 이용하여 현재 일반적으로 사용되는 보안 분야에서 뿐만 아니라 의학 분야에서도 활용될 수 있는 시스템 개발이 가능할 것이다.

[참고문헌]

A. K Jain, Ruud Bolle and Sharath Pankanti, "Biometrics Personal Identification in Networked Society", Kluwer Academic Publishers, 1999

Donald R. Bamer, Practical Iridology and Sclerology, Woolland Publishing, 1996

E. Truscoco and A. Verri, "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision", Prentice Hall, 1998

F. H. Adler, Physiology of the Eye: Clinical Application, The C. V. Mosby Company, 1965



Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 디지털 영상 처리, 그린, 2001

<http://www.iridology.or.kr/htm/2d-2.htm>, 대한 홍채 의학회

J.G Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence", IEEE Transaction on PAMI, Vol.15, No.11, pp.1148-1160, November 1993.

J. Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, London, 1982

Jyh-yuan Degn and Feipel Lai, "Region-Based Template Deformable and

Masking for Eye-Feature Extraction and Description”, Pattern Recognition, Vol.30, No.3, pp.403-419, 1997

Richard P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceeding of the IEEE, Vol. 85, No.9, pp. 1348-1363, Sep., 1997

R.M. Haralick and L.G. Shapiro., "Computer and Robot Vision", Vol.1 & 2, Addison Wesley, 1992

강동중, 하종은, Visual C++을 이용한 디지털 영상처리, 사이텍미디어, 2003

김태훈, “홍채반지름별 패턴특징에 따른 홍채검증”, 홍익대학교 석사학위 논문, 2000

이동국, “개선된 홍채 영역 검출과 정규화에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 컴퓨터과학 · 산업시스템 공학과 석사학위 논문, 2001

이문호, Visual C++ 실용 영상 신호처리, 대영사, 2001

임재경, “Iris Localization Using Collarete Boundary for Iris Recognition System”, 연세대학교 대학원 컴퓨터과학 · 산업시스템 공학과 석사학위 논문, 2003

최경주, “이진화를 위한 영상 강화 기법에 관한 연구“, 연세대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사학위 논문, 1997

감사의 글

대학원 생활을 시작한 지도 엇그제 같은데 벌써 2년이라는 시간이 지났습니다. 가만히 생각해 보면 무엇인가를 해냈다는 기쁨보다 제가 하고자 했던 일들을 하지 못한 아쉬움이 많이 남습니다.

여러 가지로 부족한 저를 이끌어주시고 지금까지 지도와 편달을 아끼지 않으신 김장형 교수님께 먼저 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 논문 심사를 맡아 세심한 부분까지 지도해주신 송왕철 교수님과 박호영 교수님께도 깊은 감사의 말씀을 드리며, 재학기간동안 저를 지도해주신 안기중 교수님과 변상용 교수님, 이상준 교수님, 변영철 교수님께도 감사를 드립니다.

동고동락하면서 많은 이야기를 나누었던 남식, 봉수, 은범, 그리고 친형과 같은 존재로 힘들 때마다 다독겨려 주었던 문일남 선생님과 홍유기 선생님, 지난 2년간 저와 같이 지냈던 대학원 동기여러분들께도 진심어린 고마움을 전하고 싶습니다. 아울러 대학원 생활동안 많은 지도를 해주신 김정효 선생님, 박창희 선생님, 강길봉 선생님, 강명화 선생님, 변태보 선생님, 송경수 선생님, 강경희 선생님, 양동호 선생님께 깊은 감사를 드리고, 연구실에서 생활하면서 성심껏 저를 도와준 봉준, 문수에게도 고마움을 전합니다. 또한 제가 지금 이 자리에 설 수 있도록 아낌없이 도와주셨던 강영도 선배님, 강진석 선배님, 양영수 선배님과 학과 조교로 계시는 이정하 선배님께도 깊은 감사드립니다.

그 동안 바쁘다는 핑계로 돌아보지 못했던 선배님들과 후배, 친구들에게 이제야 예전으로 나의 모습으로 돌아갈 수 있음을 기쁘게 생각하며 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

하나의 끝은 또 다른 시작을 의미한다고 합니다. 대학원에서 얻은 소중한 것들을 바탕으로 앞으로 펼쳐질 나의 인생의 밑거름으로 삼으며, 그 동안 소홀히 했던 나의 다른 부분을 이제부터는 하나씩 찾아 나가면서 진정한 나의 모습을 만들어 나가고 싶습니다.

끝으로, 어린 시절부터 지금까지 한결같은 마음으로 저를 지켜주고 믿어주신 부모님과 사랑하는 제 동생들, 그리고 제 옆에서 큰 힘이 되어 준 여자친구와 저를 아시는 모든 분들께 이 작은 논문을 바칩니다.