

원저

## 전안부 영상에서의 동공 및 홍채 영상 분할 연구

강호철<sup>1</sup>, 김광기<sup>1</sup>, 오휘빈<sup>1</sup>, 황정민<sup>2,3</sup>

국립암센터 기초실험화연구부 의공학연구과<sup>1</sup>, 서울대학교 의과대학 안과학교실<sup>2</sup>, 분당서울대학교병원 안과<sup>3</sup>

## A Study on Pupil and Iris Segmentation of the Anterior Segment of the Eye

Ho-Chul Kang<sup>1</sup>, Kwang Gi Kim<sup>1</sup>, Whi-Vin Oh<sup>1</sup>, Jeong-Min Hwang<sup>2,3</sup>

Biomedical Engineering Branch, Division of Cancer, National Cancer Center<sup>1</sup>,  
Dept. of Ophthalmology, Seoul National Univ. College of Medicine<sup>2</sup>,  
Seoul National Univ. Bundang Hospital<sup>3</sup>

### Abstract

**Objective:** The goal of this study was to develop a novel pupil and iris segmentation algorithm. We evaluated segmentation performance based on a fractal model. Two methods were compared: Daugman's and our new proposed method. **Methods:** We received 200 anterior segment images with 3,872×2,592 pixels. Here we present an active contour model that accurately detects pupil boundaries in order to improve the performance of segmentation systems. We propose a method that uses iris segmentation based on a fractal model. We compared the performance of Daugman's method and the proposed new method and statistically analyzed the results. **Results:** We manually compared segmentation with the Daugman's method and the new proposed method. The findings showed that the proposed segmentation accuracy was about 2.5 percent higher than Daugman's method. There was a significant difference ( $p<0.05$ ) between the under and over data between the two methods. **Conclusion:** The results of this study show that the new proposed method was more accurate than the conventional method for the measurement of segmentation of the eye by CAD (Computer-aided Diagnosis). (*Journal of Korean Society of Medical Informatics 15-2, 227-234, 2009*)

**Key words:** Pupil, Iris, Segmentation, Computer-aided Diagnosis, Image Processing

**Received for review:** August 18, 2008; **Accepted for publication:** June 3, 2009

**Corresponding Author:** Kwang Gi Kim, Biomedical Engineering Branch, Division of Cancer, National Cancer Center, 111, Jeongbalsan-ro, Madu 1-dong, Ilsandong-gu, Goyang 410-769, Korea  
**Tel:** + 82-31-920-2241, **Fax:** + 82-31-920-2242, **E-mail:** kimkg@ncc.re.kr

\* This work was supported by a research grant from National Cancer Center, Korea (grant 0810122) from the Korea Science and Engineering Foundation (R01-2005-000-10875-0)

DOI:10.4258/jksmi.2009.15.2.227

## I. 서론

디지털 영상장비들의 발전은 의학 영상에 많은 기여를 하였다. 특히 망막 질환의 진단에 있어서의 디지털 영상 분석은 망막 질환에 대한 객관적인 판단과 원격진료의 가능성, 집단 검진에서의 자동화된 질환 스크리닝(screening) 등에 그 응용 가능성이 예측되고 있는데, 현재 미국의 Moran Eye Center<sup>1)</sup>, Doheny eye Institute와 Stanford 연구진들이 활발하게 연구를 진행하고 있다<sup>2)</sup>. 1970년대에 안저 카메라의 개발로 시작된 이러한 진단 기법들이 안과학의 영역에 도입된 이후 꾸준한 장비의 발전에 힘입어 간편하면서도 보편적인 검사로 널리 보급됨으로써 안과 질환의 진단과 치료에 기여하고 있다<sup>3-7)</sup>. 또한, 생체인식 분야에서 홍채인식 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. Daugman은 명암도의 변화에 따른 경계점을 원으로 가정하고 원의 중심과 반지름을 검출하는 연구를 수행하였고<sup>8)9)</sup>, 웨이블릿(Wavelet)<sup>10)</sup>과 DCT(Discrete Cosine Transform)<sup>11)</sup>를 이용한 홍채인식 연구도 수행되었다. 하지만, 아직까지 안질환 진단에 있어서 중요한 역할을 하는 전안부 영상분석에 대한 연구가 활발하지 못하였다. 전안부 영상분석을 이용하여 동공 크기 변화 분석, 혈관 검출, 충혈 영역 측정 등, 여러 병변을 판단할 수 있는 방법에 대한 심도있는 연구가 필요하다.

이러한 관점에서 전안부 영상에서의 동공 및 홍채 영역 검출은 영상분석에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다. 정확한 동공 및 홍채 영역 분할을 통하여 흰자위 부분에서 혈관 검출을 통한 눈의 피로도 분석, 전정기능평가를 위한 안구운동 측정을 통한 객관적 데이터 획득 등이 가능할 것이다.

본 논문은 능동 외곽선 모델(active contour model)<sup>12)13)</sup>과 프랙탈 차원(fractal dimension)<sup>14)</sup>을 이용하여 기존의 Daugman의 방법보다 개선된 동공 및 홍채 영역 분할 방법을 제안하였다.

## II. 재료 및 방법

서울대학교병원에서 200장의 영상을 수집하였다. 2008년 1월-2008년 6월까지 20세부터 45세까지의 데이터를 수집하였으며, 이미지 해상도는 3,872×2,592

픽셀(pixel)이다.

일반적으로 동공 및 홍채 영역 분할에 쓰이는 Daugman의 원형 검출기 방법과 능동 외곽선 모델<sup>12)13)</sup>, 프랙탈 차원<sup>14)</sup> 방법과 비교하는 실험을 하였다. 동공 검출은 먼저 Otsu 문턱치(Otsu threshold)<sup>16)</sup>를 이용하여 이진화 영상을 생성하고, 모폴로지(Morphology) 연산<sup>15)</sup>을 적용한 후 능동 외곽선 모델을 이용하여 동공 영역을 검출하였다. 홍채 검출은 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)와 가우시안 스무딩(Gaussian smoothing)을 적용 후, 프랙탈 모델(fractal model)을 이용하여 홍채 영역을 검출하였다.

### 1. Daugman의 원형검출기 방법

일반적으로 동공은 형태가 원형을 이루고 있기 때문에, 동공 경계 검출 방법으로 원형 검출기 방법이 최근 많이 사용되고 있다. 이 방법은 다양한 중심과 반지름을 이용하여 원주의 최대 변화율을 가진 지점을 찾아내는 방법이다<sup>8)9)</sup>.

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\delta}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{f(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

이미지  $f(x, y)$ 에서 중심 $(x_0, y_0)$  반지름이  $r$ 인 원주상의 모든 점의 Gray 값을  $2\pi r$ 로 나누어 정규화시키고 이 값을 반지름에 대한 변화율로 나타내면 원주의 변화값이 된다. 여기서 원주의 변화값이 최대일 때의 중심 $(x_0, y_0)$  반지름은 동공과 홍채를 모델링한 원의 중심과 반지름으로 한다. 또한, 잡음등에 의해서 경계가 아닌 곳에서 변화율이 최대가 되거나 두꺼운 경계를 찾기 위해서 가우시안 블러 함수( $G_{\delta}(r)$ )를 적용한다.

하지만, 이 방법은 동공이 완전한 원이 되지 않는 기하학적 변화를 정확하게 검출하지 못하는 단점이 있다.

### 2. 제안하는 방법

본 논문에서는 기존의 원형검출기의 단점을 개선하여, 능동 외곽선 모델 및 프랙탈모델을 이용하여 동공 및 홍채 영역을 검출하였다. 제안하는 방법은 다음과 같다.

획득된 영상을 HSV(hue, saturation, value) 칼라 변환 형식으로 변환한 후 V(value)영상으로 동공 및 홍채 영역을 검출하였다. Figure 1은 본 연구의 흐름도

이다.

## (1) 동공 영역 검출

변환된 칼라 영상정보를 이용하여 라벨링(Labeling) 후 특징점(feature) 및 모폴로지(Morphology) 연산<sup>15)</sup>을 적용한 후 능동 외곽선 모델을 이용하여 동공 영역을 검출하였다.

### 1) 동공의 이진 영상 생성

HSV 칼라 변환 후 V영상에 Otsu 문턱치<sup>16)</sup> 방법을 적용하여 이진화하였다. 이진 동공 영상을 라벨링(Labeling) 처리한 후, 모폴로지 열림(openning)연산을 이용하여 잡음을 제거한다. 닫기(closing) 연산을 적용하여 동공에 있는 조명을 제거한다. Figure 2는 전안부 영상 및 HSV 영상을 나타낸다.

### 2) 능동 외곽선 모델을 이용한 동공 영역 검출

Daugman의 원형검출기를 이용할 경우 동공을 원으로 간주하기 때문에 홍채 근육의 기하학적 변화를 정확하게 잡아내지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 능동 외곽선 모델을 이용하여 동공 영역을 검출하였다<sup>12)13)</sup>.

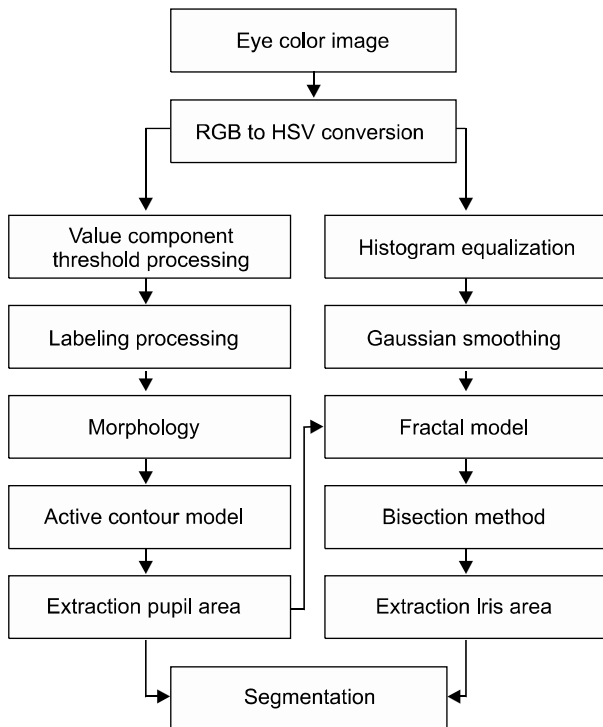


Figure 1. Flowchart of proposed method

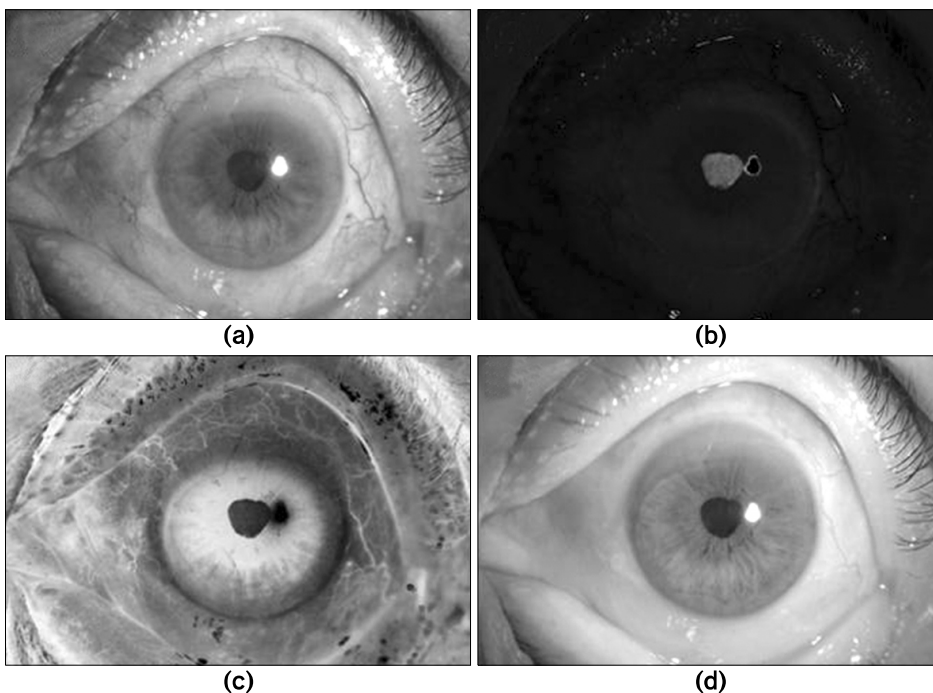


Figure 2. (a) Original image, (b) Image of hue, (c) Image of saturation, (d) Image of value

이 방법은 다음과 같이 표현된다.

$$\min E = \sum_{i=1}^n \{ \alpha(v_i)E_{cont}(v_i) + \beta(v_i)E_{curve}(v_i) + \gamma(v_i)E_{image}(v_i) \} \quad (2)$$

위 식에서  $v_i$ 는 각 노드 포인트(node point)를 의미하고,  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 각 에너지(energy)의 가중치를 의미한다.  $E_{cont}$ 는 각 노드의 연속 에너지로써 노드 간의 거리를 일정하게 유지시켜 주는 기능을 하고,  $E_{curve}$ 는 곡률에너지로써 그 지점의 곡률특성을 나타낸다.  $E_{image}$ 는 그 주변 지점과의 밝기의 기울기를 나타낸다. Figure 3은 능동 외곽선 모델을 이용한 동공 검출 결과이다.

## (2) 홍채영역 검출

### 1) 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

영상획득을 할 때의 주변의 환경, 조명의 밝기 등에 따라서, 영상의 화소값 분포가 다를 수 있기 때문에, 우선적으로 컨트라스트(contrast)를 일정한 수준으로 조절하는 기능이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 히스토그램 평활화 과정을 적용하여 환경이나 조명에 의한 오차를 줄일 수 있었다.

### 2) 가우시안 스무딩(Gaussian smoothing) 필터 적용

잡음제거와 영상의 균일효과를 위하여 가우시안 스무딩 필터를 적용하였다. 정규분포 공식에서 평균값을 0으로 하여 유도한 분포가 가우시안 분포이며, 중앙에 위치한 화소와 먼 거리에 있는 이웃 화소값들을 가중치로 감소시켜, 가중한 이웃의 평균값으로 대체

하는 특징을 가진다. 표준편차  $\sigma$ 가 파라미터로 작동하여 스무딩의 정도인 가우시안 분포 마스크의 폭을 결정한다. 2차원 가우시안 스무딩 관련식은 다음과 같다<sup>16)</sup>.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left[ \frac{-(x^2+y^2)}{2\sigma^2} \right] \quad (3)$$

본 논문에서는 5×5 가우시안 마스크를 적용하여 영상을 스무딩하였다.

### 3) 홍채경계면 검출

본 논문에서는 프랙탈 모델의 허스트 계수(Hurst coefficient)<sup>14)</sup>를 이용한 방법으로 홍채 경계면을 검출하는 방법을 제안한다. 프랙탈 모델은 자기유사성의 특징이 있어 텍스처(texture) 분석으로 유용하게 쓰이고 있는 모델로써, 박스카운팅 계수(box-counting coefficient), 하우스도르프 계수(Hausdorff coefficient), 허스트 계수가 영상처리에 응용되고 있다.

본 논문에서는 5×5 윈도우 기준으로 허스트 계수를 적용하여 홍채 경계면을 검출하였다. 제안하는 방법은 다음과 같다.

홍채 영역 검출은 다음의 6단계로 진행된다. 동공 영역 경계면에서 8방향으로 이동하며 허스트 계수를 계산한다. Figure 4는 동공가운데에서 방사방향(radial direction)으로 경계면을 검출하기 위한 것이다.

Step 1:  $R1 \in \{D1\}$ ,  $R2 \in \{D1, D2\}$ ,  $R3 \in \{D1, D2, D3\}$ ,  
 $R4 \in \{D1, D2, D3, D4\}$ ,  $R5 \in \{D1, D2, D3, D4, D5\}$

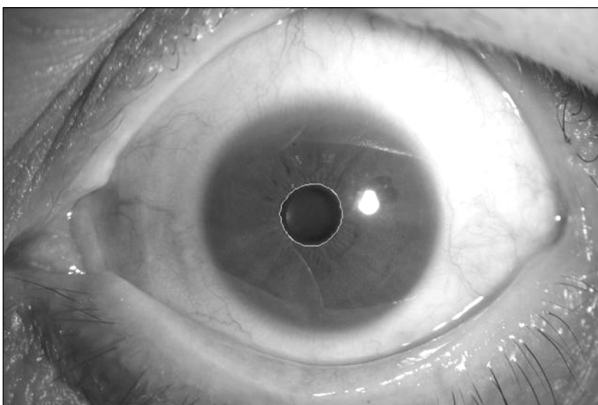


Figure 3. Pupil segmentation result

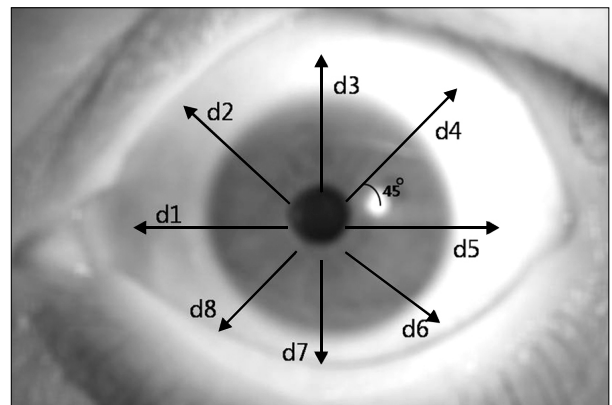


Figure 4. Iris segmentation based on radiuses directions

D1부터 D5는 윈도우 중심좌표에서 각각 거리가  $1, \sqrt{2}, 2, \sqrt{5}, \sqrt{8}$  인 픽셀들의 집합이다.

Step 2:  $G_{i(i=1 \sim 5)} = \text{Max}_{R_i} - \text{Min}_{R_i}$

Step 3:  $x_{i(i=1 \sim 5)} = \ln i, y_{i(i=1 \sim 5)} = \ln G_i$

Step 4:  $y_{i(i=1 \sim 5)} = ax_i + b$ 를 만족하는  $a, b$ 를 구한다.  $a$ 는 최소자승(least-squares) 방법으로 선 정합(line fitting)하여 결정한다.

Step 5: d1-d8까지 각 방향에 대한  $a$  < 문턱치인 홍채 경계면 좌표를 결정한다.

Step 6: 검출된 경계면으로 이분법(bisection method)으로 홍채 영역을 결정한다.

제안된 방법으로 검출된 홍채영역은 Figure 5와 같다.

### III. 결과

본 논문에서는 실험을 위해서 Visual C++ 6.0 (Microsoft, WA, USA) 기반으로 프로그램을 구성하였으며, 200개의 영상으로 테스트를 수행하였다. 제안된 방법에 의한 영역 검출 성능을 평가하기 위해서 Daugman의 원형 검출기 방법과 비교하였다. 안과전문의가 판단한 동공 및 홍채 영역과 제안된 방법과 언더 분할(under segmentation) 및 오버 분할(over segmentation)의 오차비율을 평가하였다. 언더 분할은 안과전문의가 결정한 영역보다 작은 영역으로 분리한 영역의 비율을 나타내고, 오버 분할은 오차영역을 나타낸다. 각각의 오차율을 구하는 식은 다음과 같다.

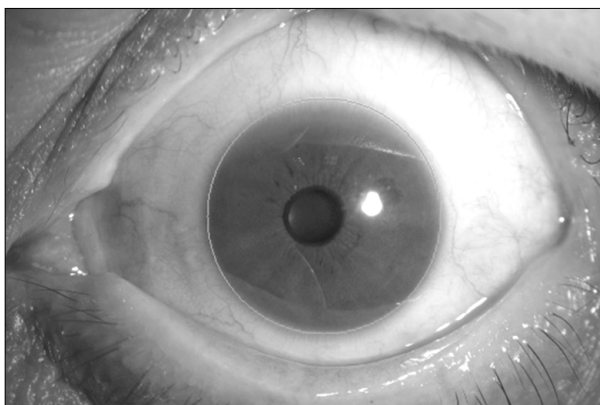


Figure 5. The result of iris segmentation of fractal dimension method

$$R_u = \frac{(H - (H \cap C))}{C_H}$$

$$R_o = \frac{(C - (H \cap C))}{C_C}$$

(4)

$$AVG = (1 - (R_u \oplus R_o)) \times 100$$

H와 C는 각각 안과전문의가 검출한 영역과 제안된 방법으로 검출된 영역이며,  $C_H$ 과  $C_C$ 는 검출된 영역의 전체 크기(픽셀)이다.  $R_u$ 는 두 영역의 해당 좌표 픽셀을 비교하여 안과전문의가 선택한 영역 중에서 제안된 방법이 검출되지 못한 영역의 비율인 언더 분할을 의미하고,  $R_o$ 는 제안된 방법에 의해 검출된 영역에서 안과전문의가 선택하지 않은 비율인 오버 분할을 의

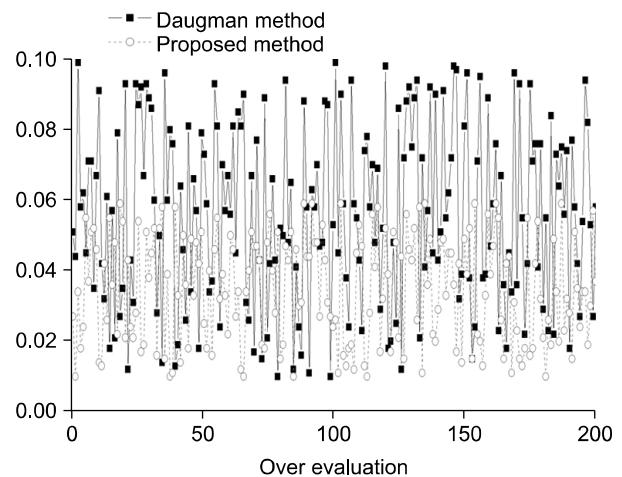


Figure 6. The ratio of over segmentation

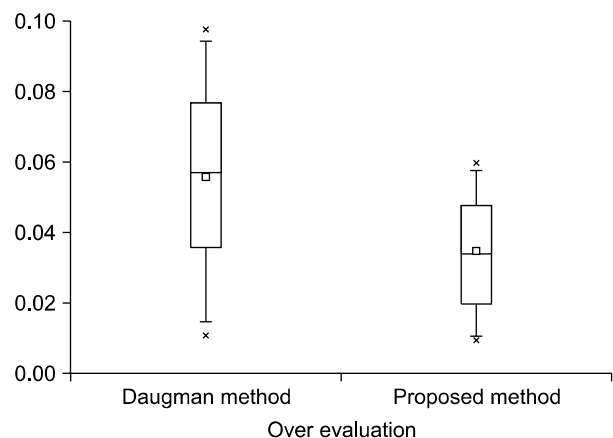


Figure 7. The comparison between Daugman's method and proposed method

미한다. 이 두 오차율을 이용하여 정확도를 백분율로 환산한 것이  $AVG$ 이며 100에 가까울수록 적은 오차율과 높은 정확도를 나타낸다.

$R_u$ 와  $R_o$ 의 비교 분석은 SPSS(ver. 13, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 대응표본 T검정(paired-t test)을 수행하였다.

수행된 실험결과 Figure 6-9와 Table 1-3과 같이 나타난다. Table 1과 2에서 mean은 오버 및 언더 테이터들의 평균을 의미한다. 오버 평가(over estimation)한 경우에 있어서는 안과전문의가 검출한 영역을 기준으로 Daugman의 방법과 제안된 방법에서 각각  $0.0565 \pm 0.026$ ,  $0.0348 \pm 0.015$ 이며, 통계적 차이는  $p=0.001$ 이다. 또한, 언더 평가(under estimation)인 경우 Daugman의

방법과 제안된 방법에서 각각  $0.0347 \pm 0.014$ ,  $0.0317 \pm 0.010$ 로 나타났으며, 통계적 차이는  $p=0.03$ 이다. 과대와 과소평가에 모두 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 제안한 방법은 Daugman의 방법과 유사한 언더 분할 오차비율을 가지는 반면, 오버 분할 오차비율은 약 2.2%의 차이로 나타났다.

Daugman의 방법은 동공이 완전한 원 형태로 가정하고 분할을 하기 때문에, 동공의 기하학적 변화에 적응적으로 적용되는 부분에서 오버 분할 오차비율의 차이가 있었다.

전체적인 성능 평가에서 Daugman의 방법은 90.88%, 제안한 방법은 93.35%의 정확도로 나타났으며, 오버 분할 오차비율의 차이가 성능 평가의 주요 차이로 나타났다.

#### IV. 고찰

본 논문은 기존의 방법을 개선한 동공 및 홍채 영역 분할 방법을 제안하였다. 획득된 칼라 영상을 HSV 칼라 변환 후, 이진화와 모폴로지를 적용하고, 능동 외곽선 모델을 적용함으로써 동공 영역을 검출하였

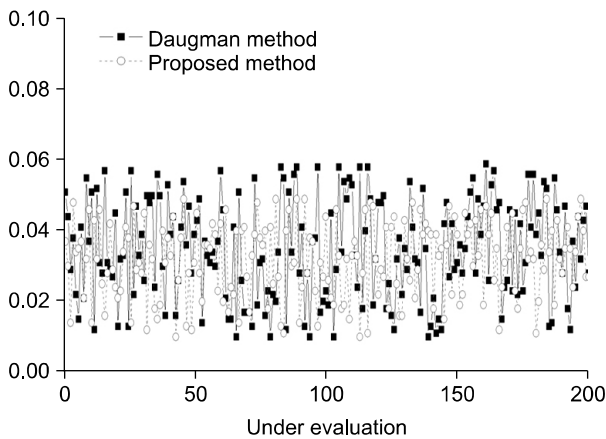


Figure 8. The ratio of under segmentation

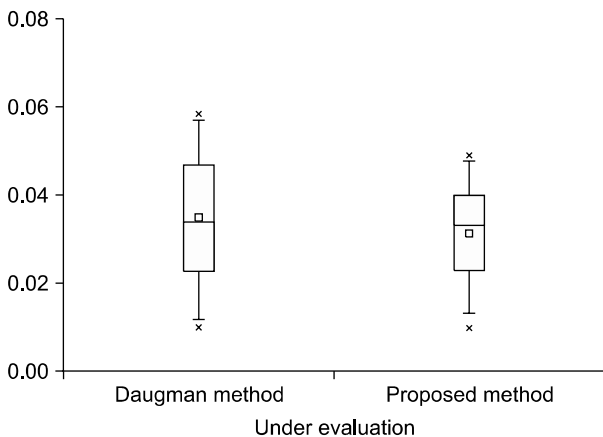


Figure 9. The comparison between Daugman's method and proposed method

Table 1. The result of statistical analysis of over segmentation

Method	Mean	Standard deviation	p value
Daugman	0.0565	0.026	0.001
Proposed	0.0348	0.015	

Table 2. The result of statistical analysis of under segmentation

Method	Mean	Standard deviation	p value
Daugman	0.0347	0.014	0.03
Proposed	0.0317	0.010	

Table 3. The comparison between Daugman's method and proposed method

Method	Over mean	Under mean	Average Seg.
Daugman	0.0565	0.0347	90.88(%)
Proposed	0.0348	0.0317	93.35(%)

다. 이진화 후 눈썹 및 잡음을 제거하기 위해서 모폴로지 제거 연산을 적용하였으며, 동공에 맺힌 조명 부분을 제거하기 위해서 닫기 연산을 수행하였다. 동공 경계면을 검출하기 위해서 일반적으로 사용하는 Daugman의 원형검출기 방법은 동공을 원으로 간주하기 때문에 동공의 기하학적 변형을 정확하게 검출하지 못한다. 따라서, 본 논문은 능동 외곽선 모델을 적용하여 홍채 근육 변화에 따른 동공의 기하학적 변화에도 적응적으로 검출할 수 있도록 하였다. 이 방법은 노드의 연속 에너지, 곡률 에너지, 밝기의 기울기로 세가지 에너지의 조합으로 경계면을 찾기 때문에 원형검출기 방법보다 정확하게 경계면을 검출할 수 있었다.

홍채 영역 검출은 동공에 비해서 경계면이 명확하지 않고, 조명강도에 따른 오차 때문에 정확히 분할하기가 쉽지 않다. 따라서, 본 논문에서는 먼저 히스토그램 평활화를 적용하여 조명에 밝기에 적응적으로 검출하도록 전처리 과정을 수행하여, 영상을 일정 수준의 대조값을 갖도록 하였다. 홍채영역 패턴들은 복잡한 잡음적 구조로 되어 있기 때문에 가우시안 마스크를 적용하여 영상을 부드럽게 하여 경계면 검출의 정확도를 높일 수 있었다. 홍채 경계면 검출을 위해서 8방향으로 프랙탈 차원 모델의 허스트 계수 방법을 적용하였으며, 선 정합된 결과값들을 문턱치로 홍채 경계 좌표들로 결정하였다. 결정된 좌표들은 이분법으로 홍채 영역을 최종 검출하였다. 일반적인 케니(canny)나 소벨(sobel) 방법에 의한 에지 검출로써 경계면 검출하는 방법은 이진화 과정이 까다롭고 홍채 경계면은 스무딩 현상이 심하기 때문에 정확하게 경계면을 검출하기가 쉽지 않다. 따라서 프랙탈 모델을 통한 텍스처 분석을 통하여 경계면 검출에 대한 정확도를 높일 수 있었다.

실험 결과 제안한 방법은 Daugman의 방법과 유사한 언더 분할 오차비율을 가지는 반면, 오버 분할 오차비율은 약 2.2%의 차이로 나타났다. 이러한 결과가 전체 성능평가 차이인 2.5%에 주요 요인으로 작용하였다.

Daugman의 방법은 동공이 완전한 원 형태로 가정하고 분할을 하기 때문에, 동공의 기하학적 변화에 적응적으로 적용되는 부분에서 오버 분할 오차비율의

차이가 있었다. 이 부분은 빛에 의한 동공의 확장에 관한 측정이나, 홍채인식에서 응용되었을 때, 오차를 발생할 수 있는 주요 원인이다. 제안하는 방법에서 이러한 문제점들을 개선하였으며, 빛의 밝기 변화에도 적응적으로 영역을 검출할 수 있었다.

기존의 방법을 개선한 제안된 방법은 컴퓨터 보조 진단 시스템 및 생체인식 분야에서 다양하게 적용될 수 있으며, 안과 질병 치료에도 도움이 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Lim JI, LaBree L, Nichols T, Cardenas I. A comparison of digital nonmydriatic fundus imaging with standard 35-millimeter slides for diabetic retinopathy. *Ophthalmology* 2000;107(5):866-870.
2. Yen KG, Hess D, Burke B, Johnson RA, Feuer WJ, Flynn JT. The optimum time to employ telephoto-screening to detect retinopathy of prematurity. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2000;98:145-150; discussion 150-141.
3. van Norren D, van de Kraats J. Retinal densitometer with the size of a fundus camera. *Vision Res* 1989; 29(3):369-374.
4. Tuulonen A, Airaksinen PJ, Montagna A, Nieminen H. Screening for glaucoma with a non-mydriatic fundus camera. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1990;68(4):445-449.
5. Zeimer R, Zou S, Meeder T, Quinn K, Vitale S. A fundus camera dedicated to the screening of diabetic retinopathy in the primary-care physician's office. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(5):1581-1587.
6. Gili Manzanaro P, Carrasco Font C, Martin Rodrigo JC, Yanguela Rodilla J, Arias Puente A. Digital analysis of the optic disc with fundus camera: a study of variability. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2004;79(3):125-130.
7. Schmitz-Valckenberg S, Fleckenstein M, Gobel AP, Sehmi K, Fitzke FW, Holz FG, et al. Evaluation of autofluorescence imaging with the scanning laser ophthalmoscope and the fundus camera in age-related geographic atrophy. *Am J Ophthalmol* 2008;146(2): 183-192.
8. Daugman J. High confidence Recognition of Persons by Rapid Analysis of Iris Texture, *IEEE Conference Publication*, May 1995, No. 408, pp.244-251.
9. Daugman J. New methods in iris recognition. *IEEE*

- Trans Syst Man Cybern B Cybern 2007;37(5):1167-1175.
10. Huang H, Hu G. Iris recognition based on adjustable scale wavelet transform. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2005;7:7533-7536.
  11. Monro DM, Rakshit S, Zhang D. DCT-based iris recognition. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2007; 29(4):586-595.
  12. Klemencic A, Kovacic S, Pernus F. Automated segmentation of muscle fiber images using active contour models. Cytometry 1998;32(4):317-326.
  13. Bogdanova I, Bresson X, Thiran JP, Vanderghyest P. Scale space analysis and active contours for omnidirectional images. IEEE Trans Image Process 2007;16(7):1888-1901.
  14. Parker JR. Algorithms for image processing and computer vision (WILEY COMPUTER PUBLISHING, 1997. 1997).
  15. Gonzalez RC, WR. Digital image processing using MatLab (ITC.Seoul, 2004. 2004).
  16. Otsu N. A threshold selection method from gray\_level histograms. IEEE Trans Systems Man and Cybernetics 1979;9:62-66.