

안저 영상에서 시신경유두의 윤곽선 자동 검출

김필운* · 홍승표** · 원철호*** · 조진호**** · 김명남****

* 경북대학교 의용생체공학과

** 경북대학교 의과대학 안과학교실

*** 경일대학교 제어계측공학과

**** 경북대학교 의과대학 의공학교실

(2003년 1월 10일 접수, 2003년 4월 9일 채택)

Automatic Detection of Optic Disc Boundary on Fundus Image

P.W. Kim*, S.P. Hong**, C.H. Won***, J.H. Cho****, M.N. Kim****

* Dept. of Medical & Biological Eng., Kyungpook National Univ.

** Dept. of Ophthalmology, School of Medicine, Kyungpook National Univ.

*** Dept. of Control & Instrumentation Eng., Kyungil National Univ.

**** Dept. of Biomedical Eng., School of Medicine, Kyungpook National Univ.

(Received January 10, 2003. Accepted April 9, 2003)

요약 : 본 논문에서는 안저 영상에서 시신경유두의 계층적인 검출 방법을 제안하였다. 혈관 정보, 영상의 복잡성 등을 포함하는 안저의 해부학적 지식에 기반한 선행 정보를 이용함으로써 시신경유두의 윤곽선을 검출하였다. 전체적인 처리과정은 크게 3 단계로 나누어진다. 먼저, 처리 과정을 단순화하기 위한 선행 지식으로 이용되는 시신경유두의 근사적인 크기와 위치를 계산하기 위하여 시신경유두를 포함하는 관심영역을 설정하였다. 그런 다음, 설정된 관심영역 내에서 watershed 알고리즘을 이용하여 안저 영상을 분할하였고 분할된 영역을 병합함으로써 시신경유두의 초기 윤곽선을 검출하였다. 최종적으로 정확한 윤곽선을 검출하기 위하여 혈관의 심한 간섭 등으로 인해 손상된 윤곽선 부분들을 탐색하고 이들을 제거 및 보정하였다.

Abstract : The propose of this paper is hierarchical detection method for the optic disc in fundus image. We detected the optic disc boundary by using the prior information. It is based on the anatomical knowledge of fundus which are the vessel information, the image complexity, and etc. The whole method can be divided into three stages. First, we selected the region of interest(ROI) which included optic disc region. This is used to calculate location and size of the optic disc which are prior knowledge to simplify image preprocessing. And then, we divided the fundus image into numerous regions with watershed algorithm and detected intial boundary of the optic disc by reducing the number of the separated regions in ROI. Finally, we have searching the defective parts of boundary as a result of serious vessel interference in order to detect the accurate bcur.dary of optic disc and we have removing and interpolating them.

서 론

안과학 분야에서 널리 사용되고 있는 안저 영상에서 시신경유두에 대한 정보는 녹내장(glaucoma) 등의 진단에 중요한 역할을 한다. 녹내장은 안구 내부의 안압이 이상적으로 상승하며 비교적 압력에 약한 시신경유두에 손상이 발생하여 실명으로 이르게 하는 질병이다[1]. 안저 영상을 이용한 녹내장의 진단시 안과 전문의가 영상에서 시신경유두의 경계를 수동적으로 그려 획득하는 것이 일반적이며, 이러한 방법에서는 조작자간뿐만 아니라 조작자의 시도 시기마다 획득

* 이 연구는 2001년도 경북대학교병원 의학연구소 연구비의 지원으로 이루어졌음.

통신저자 : 김명남 (702-701) 대구시 중구 동인동 2가 101번지
경북대학교 의과대학 의공학교실

Tel. (053) 420-5266, Fax. (053) 420-5264

E-mail. kimmn@knu.ac.kr

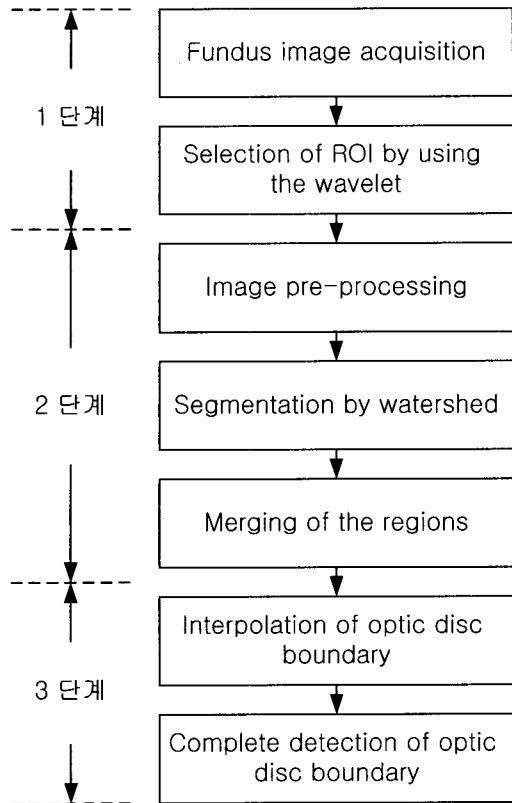


그림 1. 시신경유두의 자동 검출 방법의 순서도

Fig. 1. The flow chart for automatic detection method of optic disc

특되는 정보가 재현성을 띄지 못하는 단점이 있다. 따라서 안저 영상에서 획득되는 시신경유두 정보의 재현성 확보를 위하여 시신경유두의 자동적 검출에 관한 연구가 일부 연구자들에 의하여 수행되어 왔다.[2-5] 시신경유두는 외부에서 빛을 주어 영상을 획득할 경우 비교적 밝은 원형을 가지며 이러한 사실에 근거하여 Li 등은 공통성분분석(PCA : principal component analysis)을 이용하여 안저 영상에서 시신경유두를 검출하였고,[5] Lalonde 등은 wavelet의 이용하여 시신경유두의 대략적 크기를 계산하여 Hausdorff distance와 Hough 변환을 이용하여 시신경유두를 검출하였다.[6] Mendels 등은 동적 윤곽선 모델과 level set을 이용하여 시신경유두의 윤곽선을 추출하였다.[7] 그러나 이러한 연구들은 대략적인 시신경유두의 위치와 대략적 크기에 관한 정보만을 추출하였기 때문에 진단용으로 사용하기에는 부족한 점이 있었다.

본 논문에서는 안저 영상에서 시신경유두의 새로운 계층적인 검출 방법을 제안하였다. 시신경유두의 정보는 적색(red)성분의 영상에서 가장 뚜렷하게 나타난다고 알려져 있다.[7] 따라서 제안한 방법에서는 처리과정을 단순화하기 위하여 안저 영상의 적색 성분만을 고려하였다. 제안한 방법은 먼저, wavelet의 다해상도 특성을 이용하여 시신경유두의 관심영역을 설정하였고 시신경유두의 구조적인 정보와 국부적인 밝기 정보를 watershed 알고리즘에 적용하여 영역 분할하였다. 이 과정

에서 watershed 영역화 기법의 민감한 잡음 특성에 의한 오류를 감소시키기 위하여 필터링으로써 영상을 단순화시켰으며, 과분할 현상의 영역을 줄이기 위하여 hierarchical stepwise optimization(HSWO)[8]을 이용한 반복 수행을 통하여 근사적인 시신경유두의 영역을 검출하였다. 또한, 본 논문에서는 검출된 근사적인 시신경유두의 윤곽선이 혈관 정보에 의해 많이 손상되어있는 문제를 해결하기 위하여 손상된 부분을 검출하고 보정하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 체인코드 기반의 곡선 변화도를 측정하고, 곡선 변화도가 설정된 문턱치를 초과하는 위치들을 검출한 다음, 인접 위치의 정보에 근거한 spline 곡선을 통하여 손상된 윤곽선을 보정하였다. 제안한 검출 방법을 실제로 임상에서 획득한 안저 영상을 이용하여 실험한 결과 비교적 정확하게 시신경유두의 윤곽선을 검출함을 확인하였다.

제안한 방법의 전체적인 검출 구도

시신경유두의 전체적인 검출 과정은 크게 3단계에 걸쳐 진행된다. 그림 1은 제안한 검출 방법의 순서도이다.

1단계에서는 획득한 안저 영상에 wavelet의 다해상도 특성을 이용하여 관심영역을 설정한다. 2단계에서는 설정된 관심영역내의 영상을 전처리하고 watershed 영역화 기법을 이용하여 분할한다. 그 결과물인 다수의 작은 영역들로서 시신경유두와 유사한 하나의 영역으로 병합하는 과정을 거쳐 윤곽선을 검출한다. 3단계에서는 검출된 근사적인 시신경유두의 윤곽선을 보정하여 최종적인 시신경유두의 윤곽선을 검출한다.

관심영역의 설정

영상 처리 시간 및 영역 검출 오류를 줄이기 위하여 전체 영상에서 관심영역을 설정할 필요가 있다. 일반적으로 안저 영상에서 밝기의 밀도가 제일 큰 부분이 시신경유두이나 망막상의 손상된 세포 영역에서도 작지만 밝은 밀도를 가진다.[2] 따라서 이 부분들의 영향을 줄이면서 시신경유두를 포함하는 관심영역을 설정하기 위하여 wavelet의 다해상도 분해특성을 이용하였다. wavelet 변환시 해상도의 감소로 인하여 밝기 밀도가 큰 시신경유두의 경우 저해상도 영상에서 정보를 계속 포함하고 있지만, 밝기 밀도 차가 작은 망막상의 손상세포들은 그 값들을 wavelet 요소로 보내게 되어 scale 상에 남지 않게 된다. 따라서 저해상도에서 밝기 밀도가 큰 부분을 검색하여 시신경유두의 위치와 검색된 영역의 크기를 알아 낼 수 있다.[9] 그런 다음, 저 해상도 영상에서 선정된 영역들을 고해상도 영상에 적용함으로써 관심영역을 설정할 수 있다. 본 논문에서는 wavelet의 다해상도 영상 중 저해상도 영상을 다시 복원할 필요가 없기 때문에 변환과 복원에 있어서 다른 계수들보다 손실이 심한 단점은 있으나, 비교적 구현이 용이한 Haar 계수를 이용하였다.

그림 2는 안저 영상에 wavelet의 변환을 이용한 저해상도

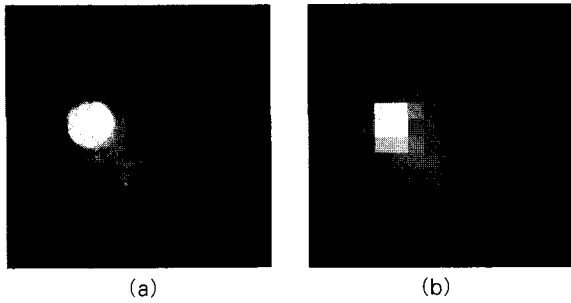


그림 2. (a) 원 영상과 (b) 원 영상의 저해상도 영상
 Fig. 2. (a) The original image and (b) the low resolution image of the original image

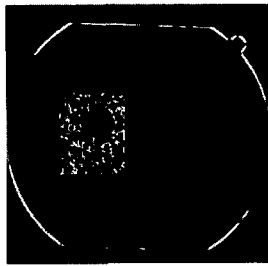


그림 4. 안저 영상에 대한 watershed 알고리즘의 결과
 Fig. 4. Result of watershed algorithm for fundus image

영상을 획득한 결과를 보여주고 있다. 그림 (a)에서 보면 시신경유두를 제외한 망막상의 다른 부분에서도 밝은 영역들이 존재하고 있음을 볼 수 있다. 그림 (a)의 scale영상을 확대한 것이 그림 (b)이며 그림 (a)에서 보여지는 시신경유두 이외의 밝은 영역들이 영향을 주지 않을 것임을 볼 수 있다. 저해상도 영상에서 원 영상의 관심영역을 검출해나가는 과정은 다음과 같다.

- 1) 최대 밝기 값 I_{max} 와 두 번째 밝기 값 I_{max-1} 을 탐색
- 2) 탐색된 밝기 값의 차이 $diff = I_{max} - I_{max-1}$
- 3) 수용 범위 $A_{range} = diff + margin$
 여기서, margin : 추가 범위
- 4) $I_{max} - A_{range}$ 이상의 밝기 값을 갖는 화소들을 초기 기준영역으로 설정
- 5) 초기 기준영역과 8-neighbor 연결특성을 갖는 화소들을 병합하여 기준영역으로 설정
- 6) 기준영역을 원 영상에 투영하여 원 영상에서의 관심영역 설정

근사적인 시신경유두의 검출

앞 단계에서 설정된 관심영역내의 영상에 대하여 잡음을 제거하고, 수리형태학적 기법을 이용한 전처리를 수행하였다. 경사영상을 기반으로 watershed 영역 기법을 적용하고, 분할된 영역들을 의미 있는 영역간의 병합을 통하여 근사적인 시신경

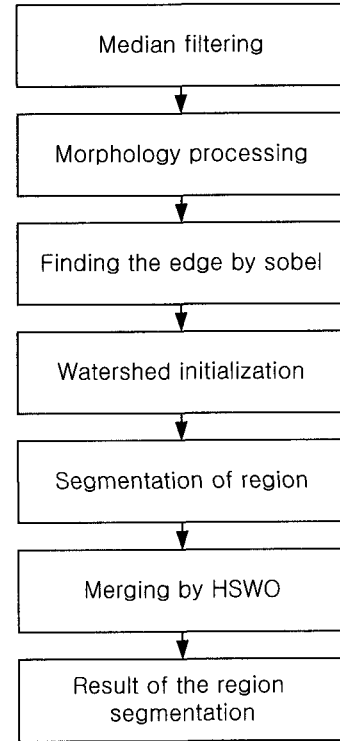


그림 3. 관심영역 내에서 시신경유두 검출 방법의 순서도
 Fig. 3. The flowchart of optic disc detection in ROI

유두 영역을 검출하였다. 그림 3은 관심영역 내에서의 시신경유두 검출 방법에 관한 것이다.

1. 안저 영상의 전처리

시신경유두의 검출에 사용되는 안저 영상은 잡음을 포함하고 있기 때문에 watershed 영역화 기법에 과분할의 가능성이 있으며 관심 영역 외부 영역 및 내부의 불필요한 영역으로 인하여 영역분할에 많은 어려움이 따르게 된다. 따라서 효과적인 영역 분할을 위해서 관심영역 내부의 잡음을 제거하고 영상의 전반적인 형태를 평탄화 시켜주는 전처리 과정이 필요하다. 본 논문에서는 전처리 과정으로 시신경유두 경계의 경사정보를 보호하면서 내부에 분산되어 존재하는 잡음들을 제거하는데 효과적인 중간 값 필터와 수리 형태학적 기법을 이용하였다.[10]

2. watershed 영역화 기법을 이용한 영역 분할

안저 영상의 경계영역에서는 전반적으로 밝기의 변화가 뚜렷하지는 않기 때문에 작은 밝기의 변화에 민감한 영역화 기법을 사용하여야 하며 watershed 영역화 기법은 이러한 조건을 잘 만족한다. watershed 영역화 기법은 영상의 밝기 값을 최소 값에서부터 물을 채워나가는듯 밝기의 값을 상승시켜가며 영역을 확장해 나가는 기법이다. 따라서 watershed 영역화 기법을 적용하기 위해서는 먼저 경사 영상이 필요하다.[5] 본 논문에서는 Sobel 연산자를 이용하여 경사 영상을 생성하였다. 생성된 경사영상을 기초로 하여 최소 값들을 검출하고 각각

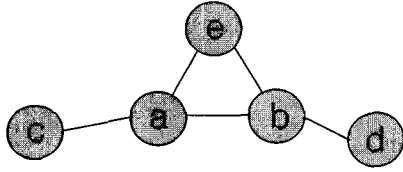


그림 5. 영역 관계 그래프
Fig. 5. The region relation graph

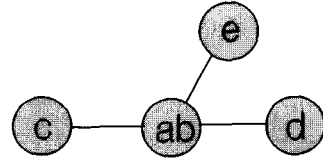


그림 6. a와 b의 병합이 이루어진 그래프
Fig. 6. The graph after merging a node and b node

함으로 정의하며, R_M^k 는 영역 k에 포함된 화소들의 집합이다. 자승오차 감소의 관점에서 각 영역에 대한 영상의 밝기를 대표하는 근사적인 단일 계수는 평균값이다.

$$\delta(R_M^i, R_M^j) = \frac{\|R_M^i\| \cdot \|R_M^j\|}{\|R_M^i\| + \|R_M^j\|} [\mu(\|R_M^i\|) - \mu(\|R_M^j\|)]^2 I(i, j) \quad (3)$$

where, $\mu(\|R_M^i\|)$: mean value of pixels in R_M^i

$$I(i, j) = \begin{cases} 1, & R_M^i \text{ and } R_M^j \text{ are adjacent} \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$

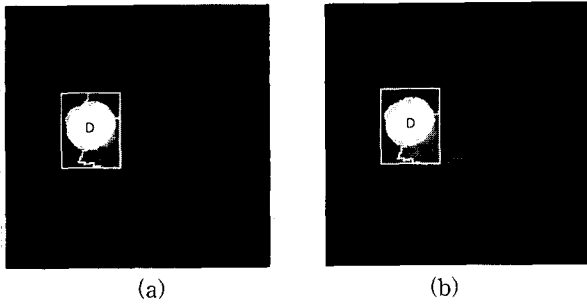


그림 7. 영역들의 병합 (a) 병합 전과 (b) 병합 후
Fig. 7. The merging of regions. (a) before merging and (b) after merging

동일 지역에 분포하는 값에 대해서 동일한 영역을 할당하고 이외의 영역에서는 다른 영역을 할당하여 watershed 영역화 기법을 적용하였다. 그림 4는 watershed 알고리즘을 이용하여 안저 영상에서 관심영역을 영역화 한 것이다. 영역의 과분할 현상을 관찰 할 수 있다. 따라서 영역들의 병합을 통해 의미 있는 영역으로 영역들의 단순화가 필요하다.

3. 과분할 영역의 병합

과분할된 영역들을 시신경유두부 윤곽선 검출에 적절한 영역으로 변환하기 위하여 영상의 밝기정보와 통계적인 분석을 적용한 영역 병합을 통해 영역들을 최적의 상태로 분할하고자 하였다. 이 과정에서 판단 기준이 되는 각 영역의 유사성을 결정하기 위해 영역들의 크기, 평균, 분산 등의 통계적인 방법들을 이용한다. 본 논문에서는 HSWO 알고리즘을 이용하여 영역을 병합시켜 주었다. 이 방법은 한 영역에서 인접한 영역들을 조사하여 유사도를 측정하고 유사도가 높은 영역과 병합을 시킨다. 그림 5의 그래프에서 노드는 영역을 에지는 연결성을 나타내며 연결성을 기반으로 하여 다음과 같이 유사도를 계산한다.

$$R_M = \{ R_M^1, R_M^2, \dots, R_M^M \} \quad (1)$$

where, R_M : set of M-partition for image Y

$$R_M^k = \{ p_{k,1}, p_{k,2}, \dots, p_{k,\|R_M^k\|} \} \quad 1 \leq k \leq M \quad (2)$$

where, $p_{k,\|R_M^k\|}$: set of pixel in region R_M^k

$\|R_M^k\|$: number of pixel for region R_M^k

여기서, R_M 은 영상 Y에 대한 M개의 분할된 영역들의 집

영역 R_M^i 에 대하여 다른 영역 R_M^j 의 비유사도를 식(3)과 같이 정의한다. 만약, R_M^i 가 자승오차에 대하여 최적한 M개의 분할 영역이 있다면, 그 다음에는 비유사도가 감소하는 방향으로 R_M^i 의 영역 쌍을 병합함으로써 최적한 (M-1)개의 분할 영역이 발생된다. 즉, 식(3)이 감소하도록 가장 유사한 영역 쌍을 하나의 영역으로 만든다. 이러한 반복적인 병합으로 통하여 과분할 영역을 최적의 영역으로 단순화시킨다.

그림 5의 그래프에서 영역 a와 연결된 영역 b, c, e의 연결성에 근거한 유사도를 측정하여 값이 큰 b와 병합을 이룬 결과를 그림 6에서 그래프로 보여주고 있다. 안저 영상에서 영역들이 병합되는 과정은 그림 7과 같이 진행되어 진다. 그림 7의 (a)는 영역 A, B, C, D의 4개의 영역으로 분할되어 있다. 영상 (a)의 영역을 병합하면 영역 A와 B의 유사도가 크게 나타나므로 병합을 시행하게 되면 영역 A와 영역 B가 병합이 되어 영역 AB를 생성시키고, 3개의 영역으로 감소가 된다. 따라서 이러한 병합을 의미 있는 영역으로 남을 때까지 반복하여 적용한 다음, 마지막 영역의 경계선을 시신경유두의 근사적인 윤곽선으로 결정하였다.

검출된 시신경유두의 윤곽선 보정

선행 단계에서 결정된 근사적인 윤곽선은 시신경유두의 내부까지 연결된 망막상의 혈관정보의 방해로 인하여 일부분이 손상되어 있다. 그 이유는 시신경유두의 밝기가 시신경유두 내부 혈관의 밝기보다 외부 혈관의 밝기와 더 유사하기 때문이다. 따라서 영역의 단순화를 위한 병합 과정에서 시신경유두의 정보가 시신경유두 외부에 근접한 혈관 정보와 병합됨으로써 손상된 부분이 발생한다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 문제

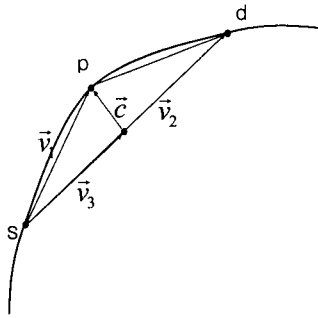


그림 8. 점 s에서 d까지의 곡선 변화의 정의
 Fig. 8. Definition of curve variation from point s to point d

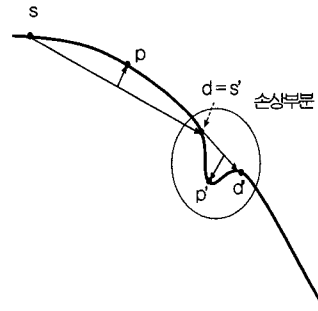


그림 9. 손상부분의 곡선 변화
 Fig. 9. The curve variation of impairment part

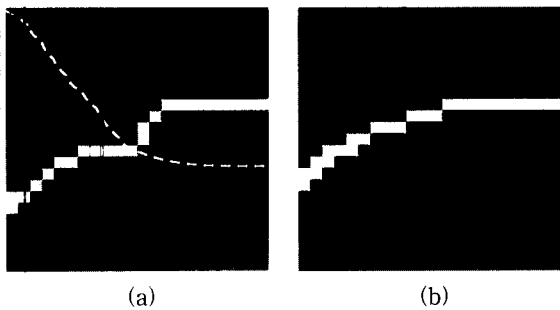


그림 10. 안저 영상에서 (a) 보정 전과 (b) 보정 후의 결과
 Fig. 10. The results of (a) before interpolation and (b) after interpolation on fundus image

점을 해결하기 위하여 시신경유두 윤곽의 곡률 변화가 거의 작은 점에 기초하여 곡선 변화가 큰 부분을 검색 및 보정하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 4-연결성 체인코드를 이용하여 시신경유두 윤곽선의 한 점으로부터 윤곽선을 따라 진행되는 방향성을 계산한 다음, 이를 기반으로 하여 곡선 변화를 측정함으로써 손상된 부분을 검색하고 B-스플라인을 이용하여 보정하였다.

그림 8에서와 같은 곡선의 임의의 한 점을 시작점 s로 하고 이동점 p를 이용하여 끝점 d까지의 곡선 변화를 측정할 수 있다. 여기서 곡선 변화를 \vec{c} 라 정의하고, s와 d사이의 곡선의 변화 정도 $|\vec{c}|$ 의 크기가 일정치를 초과하는지 조사한다. 곡선의 변화 \vec{c} 는 식(4)와 같다.

$$\vec{c} = \vec{v}_3 - \vec{v}_1 \tag{4}$$

$$|\vec{c}| = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} \tag{5}$$

$$\vec{v}_3 = \frac{|\vec{v}_3| \cdot \vec{v}_2}{\text{normalize}} \tag{6}$$

$$\vec{v}_3 = \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{|\vec{v}_2|} \tag{7}$$

점 s와 점 d의 윤곽선 상의 거리를 지정하고 두 점간의 거리 $(|\vec{v}_3|)$ 를 일정한 값으로 제한을 한다. 점 d가 시신경유두 윤

곽선을 따라 s와 d사이의 제한된 거리까지 이동하는 동안 곡선 변화가 안정적이면 s를 d의 이동 방향으로 한 점 이동시키고 s의 이전 점을 안정된 점으로 지정한 후 새로운 연산을 한다. 그러나 d가 이동하는 동안 일정 거리 이전에 곡선 변화 문턱치 $|\vec{c}|$ 의 값이 일정한 값을 넘게되면 s부터 d까지를 손상부분으로 지정한다. 이러한 과정을 반복 수행하여 시신경유두 윤곽선 전체에 대하여 적용한 후 검색된 손상 부분들을 B-스플라인 곡선으로 보정하여 최종적인 시신경유두의 윤곽선을 검출하였다.

그림 9는 곡선의 변화가 심한 s'에서 d'의 구간을 검색한 부분을 그래프로 보여준 것이다. 안저 영상에 적용한 결과의 확대 영상을 그림 10에서 보았다. 그림 10의 (a)는 초기 시신경유두의 윤곽선 중 혈관에 의해 손상된 부분을 보여주며 (b)는 손상된 부분을 검색하여 보정한 결과이다.

실험 결과

안저카메라(Topcon)로 약 35° 방향에서 촬영한 슬라이드 필름으로부터 필름스캐너를 이용하여 크기가 340×340이고 계조도가 8 bit인 안저 영상을 획득하여 분석에 이용하였다. 제안한 시신경유두 검출 방법을 이용하여 이 안저 영상에서 비교적 정확한 시신경유두의 윤곽선을 검출을 할 수 있었다.

그림 11에서는 시신경유두의 크기, 위치, 밝기, 안구의 방향 등의 영상 정보가 서로 다른 두 가지의 안저 영상에 대하여 제안한 방법을 적용하여 획득한 관심 영역의 설정 결과들이다. 실험 결과에서 보면, 제안한 방법이 시신경유두의 영상 정보가 서로 다른 경우에도 관심영역을 안정적으로 검출함을 볼 수 있다. 이때, margin계수의 적절한 값을 설정하기 위하여 본 연구팀이 획득한 다수의 안저 영상에 대하여 실험적으로 분석한 결과, 회색 레벨 5가 가장 안정한 것으로 판단되었다. 따라서 본 논문의 모든 실험에서는 margin계수의 값을 5로 설정하여 수행하였다. 설정된 관심영역에 대한 전처리 과정으로써 3×3 마스크 크기의 중간값 필터링을 수행하고 3×3 마스크 크기의 opening과 closing 연산을 순차적으로 수행하였다. 전처리된 관심영역에 대하여 Sobel 연산자를 이용하여 경사 영상을 획득하고 이 경사 영상에 watershed 알고리즘을 적용하여 영역

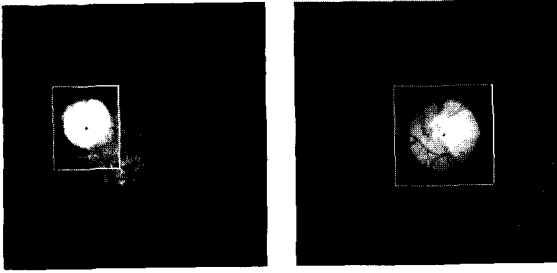


그림 11. 관심영역의 설정 결과
Fig. 11. The result of ROI selection

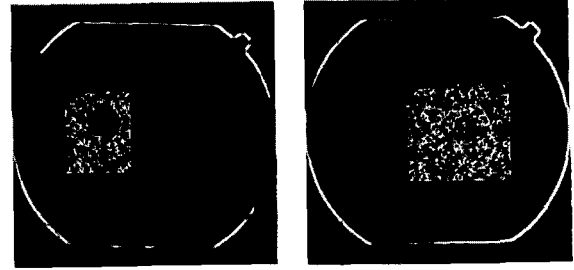


그림 12. 안저 영상에 대한 watershed 알고리즘의 결과
Fig. 12. The result of watershed algorithm for fundus images

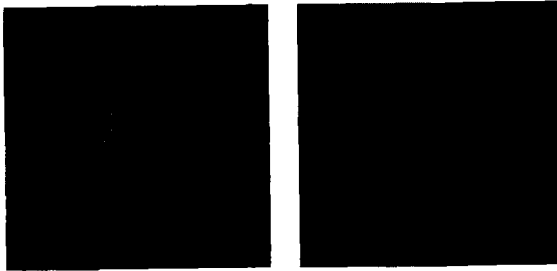


그림 13. 시신경유두에 대한 근사적인 윤곽선 검출의 결과
Fig. 13. The result of approximate boundary detection for optic disc

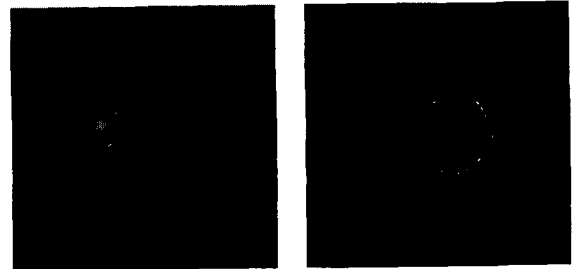


그림 14. 최종적인 시신경유두의 윤곽선
Fig. 14. The final optic disc boundary

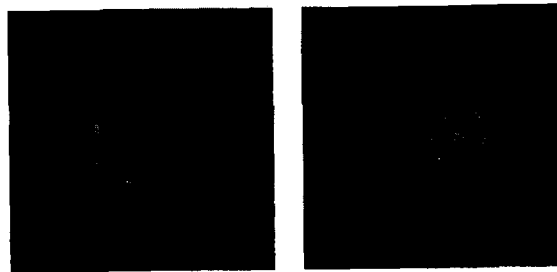


그림 15. 기존의 시신경유두 검출 방법을 적용한 결과
Fig. 15. The result of conventional optic disc detection methods

분할한 결과를 그림 12에서 보였다. 이 결과에서 watershed 알고리즘의 단점인 과분할 현상이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있으며 특히 시신경유두로 예측되는 영역들의 내부에서도 혈관 등의 장애물로 인하여 많은 영역들로 분할되어 있다. 따라서, watershed 알고리즘의 적용 결과만으로는 시신경유두의 영역을 추정하기가 어렵기 때문에 적절한 병합 방법을 적용하여 시신경유두의 영역을 단순화하여야 한다. 그림 13은 watershed 알고리즘으로 과분할된 영역을 HSWO 알고리즘으로써 병합을 수행한 결과이다. 그림 13의 검출된 근사적인 윤곽선은 시신경유두로 유입되는 혈관정보에 의하여 많은 영향을 받았다는 것을 볼 수 있으며 특히, 그림 12와 그림 13의 우측 영상에서 시신경유두로 추정되는 영역의 내부에 존재하는 무의미한 방해물(artifact)들과 강한 혈관 정보의 영향들로 인하여 검출한 근사적인 시신경유두의 윤곽선이 심하게 손상되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 손상 부분을 보정해주기 위하여 제안한 방법을 적용하여 최종적으로 획득한 시신경유두의 윤곽선을 그

림 14에서 보였다. 이때, 점 s 와 점 d 사이의 최대 거리 제한 ($|\vec{v}_{sd}|$)을 10 화소로 하였고 곡선 변화 문턱치 $|c|$ 는 1.3 화소로 설정하여 제안한 방법을 수행하였다. 그림 13의 근사적인 시신경유두 윤곽선의 손상된 부분이 잘 보정되었음을 볼 수 있다. 그림 15는 기존에 다른 연구자들에 의해 제안된 안저 영상에서 적색 성분에서 최대 밝기에서 2%를 차지하는 영역을 검출하여 시신경유두의 검출을 한 결과를 보여준다[3]. 그림 15에서 관찰 할 수 있듯이 시신경유두의 크기는 안저 영상마다 동등한 크기를 가지지 않으므로 오류가 발생할 수 있음을 볼 수 있다. 그림 16은 다른 영상에 대해 제안한 시신경유두의 윤곽선 보정 결과이다. 그림 16의 (a)들은 보정전의 시신경유두를 보여주고 있으며 제안한 방법에 의해 보정된 결과는 그림 16의 (b)들에서 관찰 할 수 있다. 따라서 다양한 특성을 갖는 다수의 안저 영상에 제안한 시신경유두 윤곽선 검출 방법을 적용한 결과들로부터 제안한 방법이 효과적임을 확인할 수 있었다.

결론

안저 영상에서 시신경유두의 검출은 영상의 선행적 분석으로 매우 중요하다. 안저 영상에서 시신경유두의 특징은 투명한 시신경이 집적되어 있는 곳으로서 높은 밝기를 갖는다. 본 논문에서는 이러한 특징을 이용하여 안저 영상에서 시신경유두의 계층적인 검출 방법을 제안하였다. 밝기가 큰 지역을 중심으로 관심영역을 설정하고 설정한 내부에 watershed 알고리즘을 이용하여 영역화한 다음, 분할된 영역들을 의미 있는 영역으로

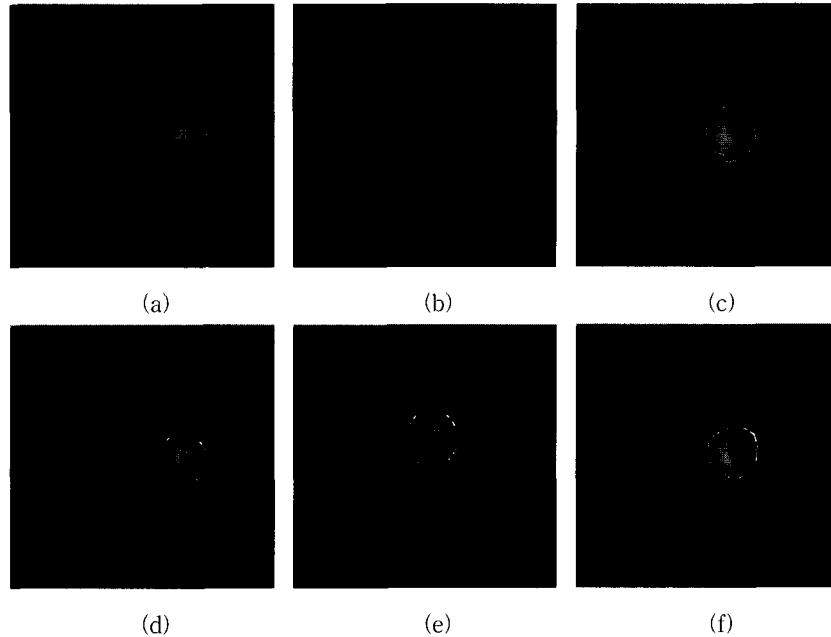


그림 16. 시신경유두 검출 결과, (a),(b),(c) 보정 전과 (d),(e),(f) 보정 후

Fig. 16. The result of the optic disc detection, (a),(b),(c) before interpolation and (d),(e),(f) after interpolation

단순화시키고, 혈관에 의하여 손상된 시신경유두의 윤곽선을 윤곽선 변화의 정도를 기반으로 하여 보정하였다.

제안한 검출 방법을 안저 영상에 적용한 결과는 비교적 정확하게 시신경유두의 윤곽선을 검출하는 결과를 도출하였다. 또한, 제안한 방법은 기존의 자동 검출 방법의 문제점을 해결할 수 있음을 확인하였다. 따라서 제안한 방법이 안과 전문의들의 수동적 방식을 대체할 수 있으며 이 경우에 수동으로 시신경유두를 검출할 때 발생하는 오차들을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 녹내장을 진단함에 있어서 가장 기본적인 시신경유두의 객관적 정보를 도출해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. J.J. Kanski, J.A. McAllister, and J.F. Salmon, *Glaucoma, A Colour Manual of Diagnosis and Treatment*, T.R Tarrant, 1996
2. Z.B. Sbeh, L.D. Cohen, G. Mimoun, and G. Coscas, "A new approach of geodesic reconstruction for drusen segmentation in eye fundus images," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 20, no. 12, pp. 1321-1333, Dec. 2001
3. H. Li and O. Chutatape, "Fundus image features extraction," *Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference*, vol. 4, pp. 3071-3073, 2000
4. 강진권 외 4명, "안저영상 해석을 위한 특징영역의 분할에 관한 연구," *의공학회지*, 제16권 제2호, pp. 121-128, 1995
5. H. Li and O. Chutatape, "Automatic location of optic disc in retinal images," *Proceedings of 2001 International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 837-840, 2001
6. M. Lalonde, M. Beaulieu, and L. Gagnon, "Fast and robust optic disc detection using pyramidal decomposition and Hausdorff-based template matching," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 20, no. 11, pp. 1193-1200, Nov. 2001
7. F. Mendels, C. Heneghan, P.D. Harper, R.B. Reilly, and J.-Ph. Thiran, "Extraction of the optic disk boundary in digital fundus images," *Proceedings of the First Joint BMES/ EMBS Conference*, vol. 2, pp. 1139-1139, 1999
8. K. Haris, S.N. Efstratiadis, N. Maglaveras, and A.K. Katsaggelos, "Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 7, no. 12, pp. 1684-1699, Dec. 1998
9. R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2001
10. Y. Mahdavih and R.G. Gonzalez, *Advances in Image Analysis*, SPIE Press, 1992