

# 각막 내피 세포 영상내 육각형 에지 검출법

## A Detection Method of Hexagonal Edges in Corneal Endothelial Cell Images

김 응 규\*  
Eung-Kyeu Kim\*

### 요약

본 연구에서는 육각형상을 포함하는 잡음이 많은 저 대비 영상으로부터 에지를 검출하는 방법을 제안한다. 이 방법은 라플라시안-가우시안 필터의 조합과 형상에 의존하는 필터의 아이디어에 기초하고 있다. 먼저, 모퉁이에서 특히 육각형의 에지를 검출하기 위한 검출기로서 6개의 마스크를 갖는 알고리즘을 사용한다. 여기에서 두 개의 삼각화살 모양의 필터는 육각형의 삼각화살 모양의 접속부를 검출하기 위해 사용되고, 나머지 네 개의 마스크는 육각형 에지의 선성분을 강조하기 위해 사용된다. 자연영상으로서 보통 규칙적인 육각형상의 각막 내피 세포를 선택하며, 이 각막 내피 세포내 육각형상의 에지 검출은 임상 진단에 있어서 중요하다. 그 다음, 에지 검출법의 유효성을 평가하기 위해 제안 알고리즘과 기존 방법을 잡음을 포함하는 육각형 영상에 적용한 결과 본 제안 방법이 다른 방법에 비해 신호 대 잡음비와 에지의 일치율 및 검출 정확도에서 잡음에 대한 강인성과 양호한 검출 능력을 나타낸다.

### Abstract

In this paper, a method of edge detection from low contrast and noisy images which contain hexagonal shape is proposed. This method is based on the combination of laplacian gaussian filter and an idea of filters which are dependent on the shape. First, an algorithm which has six masks as its extractors to detect the hexagonal edges especially in the corners is used. Here, two tricorn filters are used to detect the tricorn joints of hexagons and other four masks are used to enhance the line segments of hexagonal edges. As a natural image, a corneal endothelial cell image which usually has a regular hexagonal shape is selected. The edge detection of hexagonal shapes in this corneal endothelial cell is important for clinical diagnosis. Next, The proposal algorithm and other conventional methods are applied to noisy hexagonal images to evaluate each efficiency. As a result, this proposal algorithm shows a robustness against noises and better detection ability in the aspects of the signal to noise ratio, the edge coincidence ratio and the detection accuracy factor as compared with other conventional methods.

**Keywords :** hexagonal edge, tricorn filter, corneal endothelial cell, edge detection

## 1. 서론

컴퓨터비전 분야에서 가장 중요한 영역중의 하나는 특징 추출로 특히 에지 검출[1-4]에 관해 많은 연구자들이 노력을 경주해왔다. 이에 이번 연구에서는 특히 저 대비(contrast)와 잡음이 포함된 조건하에서 육각형상을 검출함에 그 목표를 두고 있으며 아울러 육각형 에지를 정확하게 검출할 수 있는 마스크를 작성하고자한다. 각막 내피 세포

는 안구의 영상정보시스템에 있어서 골절율을 담당하는 중요한 역할을 하기 때문에 각막 내피 세포의 검출은 의학 영상에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 보통 각막 내피 세포는 규칙적인 육각형상을 하고 있다. 세포가 내부적인 작용에 의해 손상을 받을 때 약간의 세포들은 소멸되고 주위 세포들은 확장하여 불규칙적인 형상과 크기가 되는 원인이 된다. 아울러, 생체내에서 자동적으로 각막 내피 세포내 육각형상의 에지 검출[5-9]은 임상진단에 있어서 매우 중요하다. 이에 본 논문에서는 저 대비의 잡음이 포함된 영상에 대해 에지를 검출하는 방법을 제안한다. 한편, 각막 내피 세포에 대한 윤곽 검출 처리는 다음과 같은 문제점을 포함한다.

첫째, 많은 부수적인 잡음이 존재한다는 것, 둘째, 저 대비 영상이 대다수를 차지한다는 것, 셋째, 저 분해능 영상

\* 한밭대학교 정보통신공학과

투고 일자 : 2012. 8. 2 수정완료일자 : 2012. 10. 31

계재확정일자 : 2012. 11. 3



표 2(c). 좌측 연산자  
Table 2(c). Left operator

1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	-2	0	0	0	0
0	1	1	-2	-2	-2	0	0	0
0	0	-2	-2	-2	-2	-2	0	0
0	0	0	-2	-2	-2	1	1	0
0	0	0	0	-2	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1

표 2(d). 우측 연산자  
Table 2(d). Right operator

0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	-2	1	1	1	1
0	0	0	-2	-2	-2	1	1	0
0	0	-2	-2	-2	-2	-2	0	0
0	1	1	-2	-2	-2	0	0	0
1	1	1	1	-2	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0

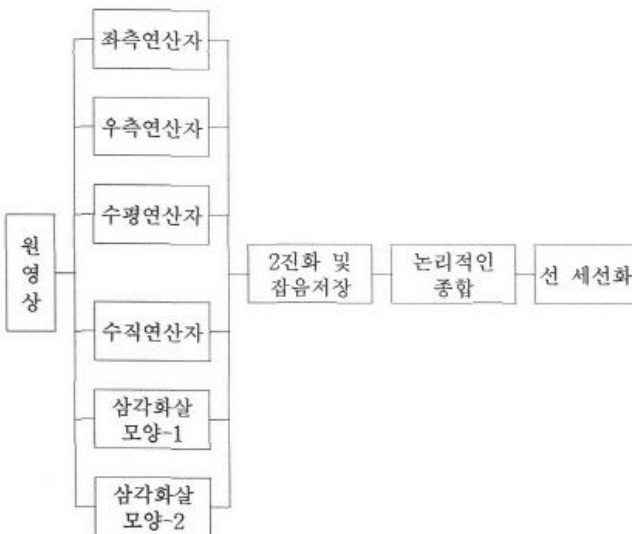


그림 2. 알고리즘의 흐름도  
Fig. 2. The flow chart of algorithm

### III. 유효성 평가실험

입력으로서 두 종류의 영상에 대한 제안방법을 실험하였다. 첫 번째 영상은 약간의 인공적인 잡음 영상 그룹이고 두 번째 영상은 실제 각막 내피 세포 영상이다. 모든 필터들은 9×9 크기를 갖는다.

#### 3.1 인공적인 영상

8비트의 샘플 영상은 그림 3에서와 같이 명도 191과 배

경 명도 64의 대략적인 육각형상을 하고 있다. 육각형 선의 폭과 길이는 각각 3, 9픽셀과 동일한 것으로 선택되어진다. 이 3, 9의 픽셀들은 각막 내피 세포의 픽셀들과 거의 동일하다. 가우시안 잡음을 샘플영상에 가한다면 다른 종류의 잡음 영상이 생성된다. 이들 잡음영상에 대해 제안하는 6-필터를 포함한 다른 종류의 필터와 컨볼루션을 행한다.

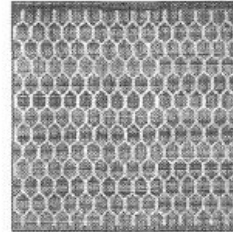


그림 3. 샘플영상(200×160)

Fig. 3. The sample image(200×160)

그림 4는 제안하는 6-필터에 의한  $\sigma_n=40$ 인 잡음영상과의 컨볼루션 수행에 의한 질삭된 결과를 보여주고 있다.

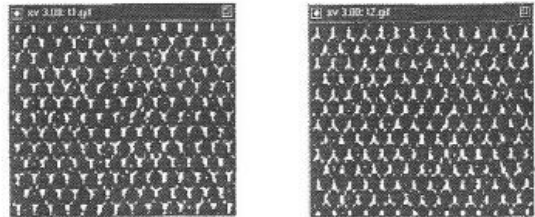


그림 4(a). 삼각화살모양-1 그림 4(b). 삼각화살모양-2  
Fig. 4(a). Tricorn-1 Fig. 4(a). Tricorn-2

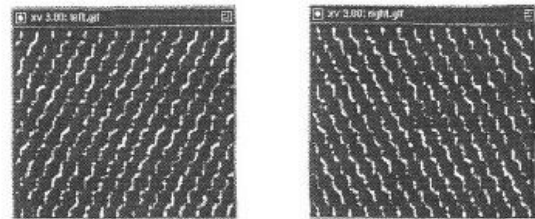


그림 4(c). 좌측 연산자 그림 4(d). 우측 연산자  
Fig. 4(c). Left operator Fig. 4(d). Right operator

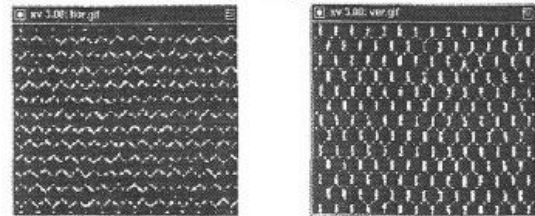


그림 4(e). 수평 연산자 그림 4(f). 수직 연산자  
Fig. 4(e). Horizontal operator Fig. 4(f). Vertical operator

그림 4. 제안된 성분 필터에 의한 컨볼루션  
Fig. 4. Convolutions with proposed component filters

그림 5는 그림 5(a)의 잡음 샘플 영상에 대해 간단한 잡음 제거후 이 영상에 Prewitt, Sobel, Laplacian, LGF 필터 및 6-필터 알고리즘으로 컨볼루션을 행한 결과를 보여주고 있다. 여기에서 Prewitt, Sobel의 1차 미분 필터와 Laplacian, LGF 필터 및 6-필터 알고리즘의 2차 미분 필터를 사용했을 때 그 결과 사이에는 기본적인 차이가 존재한다. 2차 미분 필터에 의한 컨볼루션을 행한 영상에 대해 적절한 임계값을 취함으로써 선 성분을 검출할 수 있다. 하지만 1차 미분 필터를 사용할 때 실제 에지가 아닌 제거되어야 하는 육각형내부의 약간 잘못된 에지의 생성을 유도할 수 있다. 그래서 Prewitt와 Sobel의 출력 평가는 잘못된 에지를 수동적으로 제거한 후 행해진다.

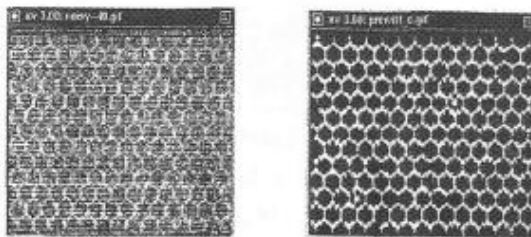


그림 5(a). 잡음 샘플( $\sigma_n=40$ )    그림 5(b). Prewitt filter  
Fig. 5(a). Noisy sample ( $\sigma_n=40$ )    Fig. 5(b). Prewitt filter.

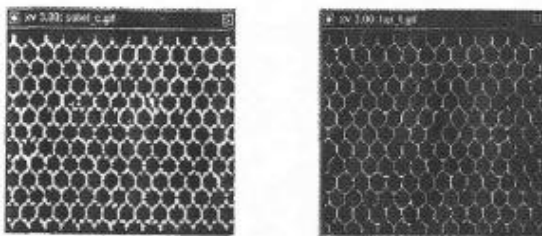


그림 5(c). Sobel 필터    그림 5(d). 라플라시안 필터  
Fig. 5(c). Sobel filter    Fig. 5(d). Laplacian filter

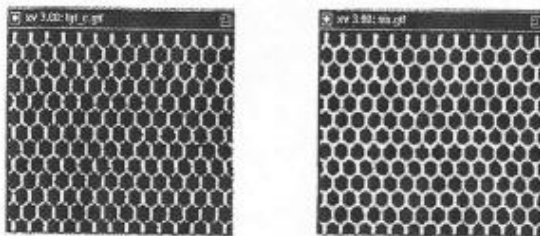


그림 5(e). LGF 필터    그림 5(f). 6-필터 알고리즘  
Fig. 5(e). LGF filter    Fig. 5(f). Six-filter algorithm

그림 5. 기존 필터와 제안된 방법과의 컨볼루션  
Fig. 5. Convolutions with conventional filters and the proposed method

에지 맵(edge map)을 만들기 위한 임계값 수준에 대한

정의는 쉽지않다. 이번 실험의 경우 기존 연구[4]를 고려하여 전체 영상의 27% 픽셀을 가진 패턴을 검출하고자 한다. 아울러, 영상에 대해 잡음의 추가를 고려한다면 이 임계값은 관계된 필터의 방향에 있는 픽셀의 수에 기초한 삼각화살모양-1, 삼각화살모양-2, 수평, 수직, 좌측, 우측 필터에 대해 각각 16%, 16%, 10%, 14%, 11% 및 11%로 정해진다. 그림 6은 그림 5의 세션화된 영상[10-12]을 나타내고 있다.

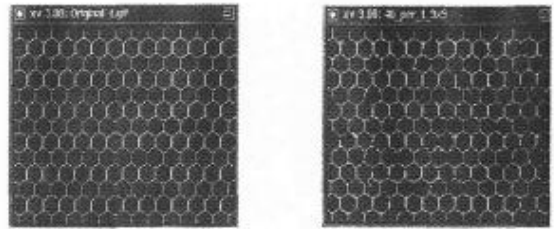


그림 6(a). 원영상    그림 6(b). Prewitt 영상  
Fig. 6(a). Original image    Fig. 6(b). Prewitt image

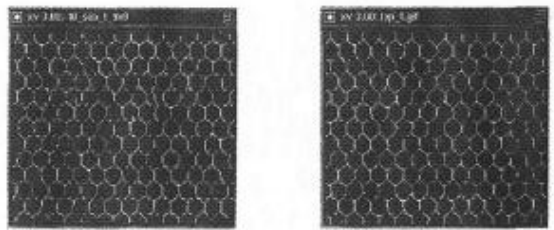


그림 6(c). Sobel 영상    그림 6(d). 라플라시안 영상  
Fig. 6(c). Sobel image    Fig. 6(d). Laplacian image

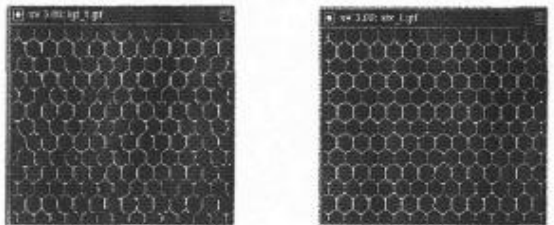


그림 6(e). LGF 영상    그림 6(f). 6-필터 알고리즘  
Fig. 6(e). LGF image    Fig. 6(f). Six-filter algorithm

그림 6. 그림 5의 세션화 영상

Fig. 6. The thinned Images of Fig. 5

### 3.2. 평가 척도

#### 3.2.1 출력 신호 대 잡음비

여러 방법에 대한 유효성을 평가하기 위해 라플라시안, LGF 및 선형적으로 합성된 필터와의 컨볼루션이 행해진 잡음 영상에 대한 신호 대 잡음비(S/N)[13,14]를 식 (1)과 같이 계산하였다. 식 (2)에서  $F(x,y)$ ,  $\hat{F}(x,y)$  및  $H(x,y)$ 는 각각 원영상, 잡음영상, 필터를 나타내고 기호 \*는 컨볼루션 연산자를 의미한다.

$$S/N = -10 \log_{10}(MSE) \quad (1)$$

여기에서,

$$MSE = \frac{\sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K [G(j,k) - \hat{G}(j,k)]^2}{\sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K G(j,k)^2} \quad (2)$$

그리고,  $G(j,k) = F(x,y) * H(x,y)$ ,  
 $\hat{G}(j,k) = \hat{F}(x,y) * H(x,y)$

표 3은 다른 잡음 영상에 대해 계산된 S/N의 결과를 나타낸다. 이러한 결과는 일반적으로 평균자승 오차가 라플라시안과 라플라시안-가우시안 결과에 비해 각각 23%와 12%만큼 감소했음을 나타내고 있다.

표 3. 계산된 S/N[dB]  
 Table 3. Computed signal to noise ratios[dB]

필터 시그마	라플라시안	라플라시안-가우시안	선형적으로 합해진 필터
20	13.52	13.94	14.67
50	5.72	6.19	6.88
120	-1.067	-0.672	0.008

신호대 잡음비는 필터에 대한 부분적인 특성이 아니라 전체적인 특성을 평가한다. 더구나 신호 대 잡음비는 아날로그 출력을 필요로 하기 때문에 6-필터 알고리즘 대신 선형적으로 합해진 필터만 평가했다. 그래서 삼각화살모양 필터의 부분적인 장점이 이러한 평가에 있어서 오히려 축소된다는 면이 존재한다. 그러나 접속부분에 대한 그러한 검출 성능은 각막 내피 세포 영상의 형상평가에 있어서 중요하다.

### 3.2.2 일치율[13]

실제적인 에지 검출 확률은 이상적이고 실제적인 에지 검출기의 에지 맵에 관한 일치율 비교에 의해 쉽게 평가될 수 있다. 에지위치 정확도는 다음 식에 의해 정의되는 특징 평가인자 계수(the figure of merit rating factor)에 의해 평가된다.

$$F = \frac{1}{\max(N_A, N_I)} \sum_{i=1}^{N_A} \frac{1}{1 + (\alpha d_i^2)} \quad (3)$$

여기에서  $d_i$ 은 에지로서 선언된 픽셀과 최근접의 이상적인 에지픽셀 사이의 거리이고,  $\alpha$ 는 상수를  $N_A$ 와  $N_I$ 은 각각 검출된 실제 픽셀과 이상적인 픽셀의 수를 나타낸다.

표 4는 6-필터법과 이전에 언급된 에지검출기와의 비교를 나타내고 있다. 이 비교 결과를 통해 제안 알고리즘의 강인성 및 다른 방법에 비해 더욱 양호한 검출 성능을 나타낼 수 있다.

표 4. 그림 5(a)의 잡음실린 육각형 샘플 영상의 세선화 알고리즘에 의해 수행된 에지 검출 결과  
 Table 4. Result of edge detection followed by thinning algorithm of noisy sample image of hexagon of fig. 5(a)

검출법 (이상적인 픽셀수, 3482)	검출된 전체 픽셀	이상적인 에지와 동일하게 검출된 위치(D)	일치율 (D/I)	정확도 (F)
Sobel	2991	1936	0.56	0.56
Prewitt	3324	2389	0.69	0.69
Laplacian	3085	2143	0.62	0.62
LGF	2939	2256	0.65	0.65
선형적으로 합해진 필터	4038	2658	0.76	0.65
6-필터 알고리즘	3412	2697	0.77	0.75

### 3.2.3 각막 내피 세포 영상

그림 7은 내부 작용에 의해 손상을 받은 잡음이 실린 저대비인 각막 내피 세포의 원영상을 나타낸다. 우선, 화살형상을 한 두 부분의 각막 내피 세포 영상을 선택한다. 다음으로 이 부분 영상을  $\pm 90$ 도 이내로 회전시켜 두 개의 다른 영상을 생성한다. 그림 8과 그림 9는 각각 이들 4개의 영상과 기존 필터들과의 컨볼루션 수행 및 제안필터와의 컨볼루션 수행 결과를 나타내고 있다. 이들 접속부분에 있어서 6-필터 방법이 다른 방법보다 더욱더 양호하게 작용하고 있음을 명확히 인지할 수 있다.

이제 각막 내피 세포 영상 전체를 취급하며, 모든 필터의 크기는  $9 \times 9$  픽셀이다. 그림 10은 그림 10(a)의 원영상에 대한 몇가지 기존 필터들과의 컨볼루션 결과를 나타내고, 그림 11은 그림 10의 세선화 영상들을 나타내고 있다. 이러한 세선화 영상의 획득을 통해 각막 내피 세포 영상에 대한 거의 대다수의 올바른 에지들이 6-필터 알고리즘의 사용에 의해 검출되고 있음을 보여준다. 반면에 다른 결과들은 좀 불충분함을 나타내고 있다.

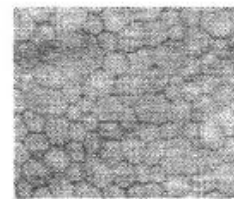


그림 7. 각막 내피 세포 원영상  
 Fig. 7. Original image of corneal endothelial cell



그림(Fig.) 8(a). Origin  
 그림(Fig.) 8(b).Prew,  
 그림(Fig.) 8(c). Sobel,  
 그림(Fig.) 8(d). Lapla.  
 그림(Fig.)8(e). LGF filter

그림 8. 기존 필터와의 컨볼루션  
 Fig. 8. Convolutions with conventional filters

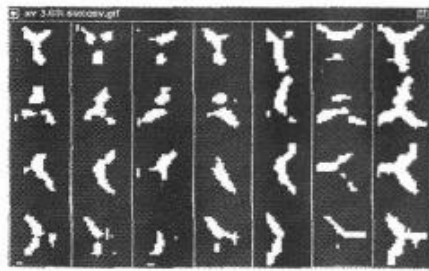


그림 9(a), 9(b), 9(c), 9(d), 9(e), 9(f), 9(g)  
 Fig. 9(a). Tricorn-1, Fig. 9(b). Tricorn-2,  
 Fig. 9(c). Left, Fig. 9(d). Right, Fig. 9(e). Vertical  
 Fig. 9(f). Horizontal, Fig. 9(g). Six-filter algorithm

그림 9. 제안된 필터와의 컨볼루션  
 Fig.9. Convolutions with proposed filters

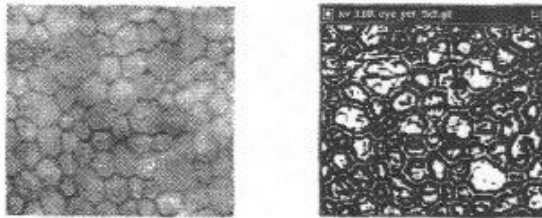


그림 10(a). 원영상      그림 10(b). Prewitt 영상  
 Fig. 10(a). Original image      Fig. 10(b). Prewitt image

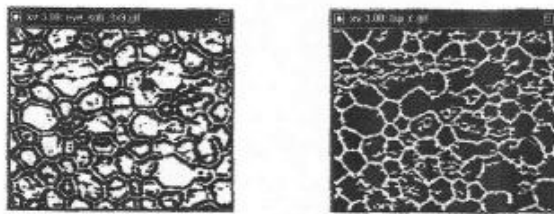


그림 10(c). Sobel 영상      그림 10(d). 라플라시안 영상  
 Fig. 10(c). Sobel image      Fig. 10(d). Laplacian image

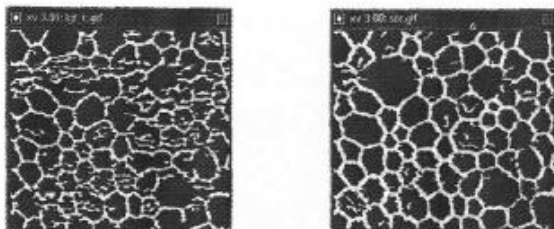


그림 10(e). 라플라시안-가우시안 영상      그림 10(f). 6-필터 알고리즘 영상  
 Fig. 10(e). LGF image      Fig. 10(f). Six-filter algorithm image

그림 10. 기존 필터 및 제안 기법과의 컨볼루션 결과  
 Fig. 10. Convolution result with conventional filters and the proposal method

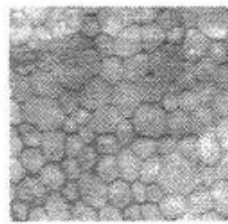


그림 11(a). 원영상  
 Fig. 11(a). Original image

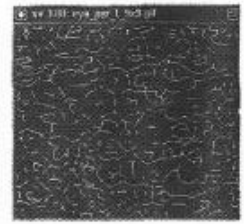


그림 11(b). Prewitt 영상  
 Fig. 11(b). Prewitt image

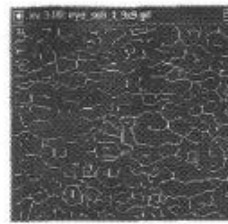


그림 11(c). Sobel 영상  
 Fig. 11(c). Sobel image

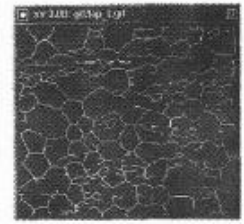


그림 11(d). 라플라시안 영상  
 Fig. 11(d). Laplacian image

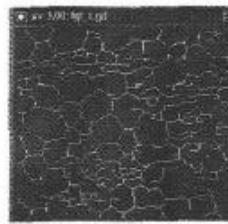


그림 11(e). 라플라시안-가우시안 영상  
 Fig. 11(e). LGF image

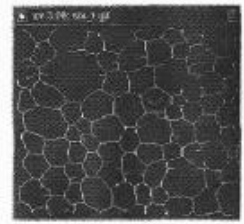


그림 11(f). 6-필터 알고리즘 영상  
 Fig. 11(f). Six-filter algorithm image

그림 11. 그림 10의 세션화 결과

Fig. 11. The thinned results of Fig. 10

#### IV. 결론

본 연구에서는 눈의 각막 내피 세포와 같이 잡음이 실린 육각형상을 검출해서 강조하기 위한 삼각화살 모양의 필터를 사용하는 한가지 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 삼각화살 모양의 필터는 기존의 필터들에 비해 육각형상의 접속부를 양호하게 검출할 수 있음을 보여주었다. 이 알고리즘은 저 대비의 잡음이 많은 육각형상에 대하여 강인한 특성을 갖고 있다. 하지만 이 알고리즘의 양호한 성능에도 불구하고 6-필터의 수행으로 인해 다른 방법에 비해 더욱더 많은 시간이 소요된다. 향후 과제로서 검출 알고리즘에서 각각의 강조된 영상에 대한 임계값 수준을 결정하는 양호한 방법과 더 나아가 육각형상의 에지 검출에 따른 결손 부분을 보완하는 방법이 남아있다.

참 고 문 헌

Image Processing using MATLAB, PEASON Prentice Hall, Inc., pp.125-140, 2005.

[1] LS. Davis, "A survey of Edge Detection Techniques", Computer Graphics and Image Processing, Vol.4, pp.248-270, 1975.

[2] D. Marr, E. Hidreth, "Theory of edge detection", Processing R., Society, Lond, Vol.B207, pp.187-217, 1980.

[3] N. Yamaguchi, N. Tamori, and A. Shiomi, "A Lane Detection Method Using Adaptive Edge Preservative Smoothing", The ICEC Trans. on Information Systems, Part 2, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1421-1431, Aug. 2002.

[4] M. Basu, "Gaussian-based edge-detection method-a survey", IEEE Trans. System, Man and Cybernetics, Part C, Vol.32, Issue 3, pp.252-260, Aug. 2002.

[5] B. Lipkin, A. Rosenfeld, Picture Processing and Psychopictorics, JMS Prewitt: Object Enhancement and Extraction, Academic Press, New York, 1970.

[6] K. Suzuki, I. Horiba and N. Sugie, "Neural edge enhance for supervised edge enhancement from noisy images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.25, Issue 12, pp.1582-1596, Dec. 2003.

[7] F. Gasparini, S. Corchs, R. Schettini, "Adaptice Edge Enhancement using a Neurodynamical Model of Visual Attention", ICIP, pp.972-975, 2005.

[8] P. Shivakumara, W. Huang, and C. Tan, "An Efficient Edge based Technique for Text Detection in Video Frames", IEEE The Eighth International Association of Pattern Recognition(IAPR) International Workshop on Document Analysis Systems(DAS), 307-314, 2008.

[9] Eung-Kyeu Kim, "An Extraction Method of Glomerulus Region from Renal Tisssue Images", Journal of The Korean Institute of Signal Processing and Systems, Vol.13, No.2, 70-76, 2012.

[10] Sung Woong Shin, Jun Chul Kim, Kum Hui Oh, Yung Ran Lee, "Automatic Matching of Multi-Sensor Images Using Edge Detection Based on Thining Algorithm", Korean Journal of Geomatics, Vol.26, No.4, pp.407-414, 2008.

[11] Jun-Sik Kwon, "Obtaining 1-pixel Width Line Using an Enhanced Parallel Thinning Algorithm", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol.46, No.1, SP, pp.1-6, 2009.

[12] Yun-Hee Woo, Mi-Na Ha, Seung-Min Jung,, "A Hardware Implementation of Fingerprint Identification Thinning Algorithm", Spring Conference Proceedings 2012 of The Korean Institute of Maritime Information and Communication Sciences, Vol.14, No.1, pp.493-496, 2010.

[13] S. E. Umbaugh, Computer Imaging Digital Image Analysis and Processing, A CRC Press Book, pp.328-355: pp.377-391, 2005.

[14] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, Digital



김 응 규(Eung-Kyeu Kim)

正會員

1976년 02월 충남대학교 공업교육과(학사)

1978년 02월 충남대학교 대학원 공업교육과  
전자공학전공(석사)

1993년 09월 오사카(大阪)대학 대학원  
정보공학과\_영상신호처리  
공(박사)

1987년 10월 ~ 1989년 09월 교오토(京都)대학 공학부 연구원

1990년 02월 ~ 1992년 03월 오사카(大阪)대학 기초공학부  
문부교관(助手)

1994년 03월 ~ 현재 한밭대학교 정보통신공학과 교수

2003년 05월 ~ 2006년 02월 한밭대학교 BK21지역대학  
육성사업단장

2005년 03월 ~ 2007년 02월 한밭대학교 정보통신전문대 학원장

2009년 01월 ~ 현 재 한국신호처리·시스템학회중심회원,  
상임이사 및 감사

2009년 01월 ~ 2010년 12월 대한전자공학회 대전·충남 지부장

2001년 00월 ~ 2002년 01월 오를라호마주립대학교

2009년 08월 ~ 2010년 07월 컴퓨터과학과 연구교수

관심 분야 : 영상신호처리, 컴퓨터비전, 인공 지능, 영상압  
축통신 및 컴퓨터그래픽(3D)