

# 자동 시각 굴절력 곡률계에서의 효과적인 각막 측정 알고리즘

성 원\*, 이경민\*\*, 한기선\*\*\*, 박종원\*\*  
충남대학교 \*컴퓨터공학과, \*\*정보통신공학과  
\*\*\*극동정보대학 멀티미디어과  
e-mail : wseong@ce.cnu.ac.kr

## An Effective Measurement Algorithm for the Cornea in Automatic Refracto-Keratometer

Won Seong\*, Kyeong-Min Lee\*\*, Ki-Sun Han\*\*\*, Jong-Won Park\*\*

\*Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

\*\*Dept. of Information and Communication Engineering, Chungnam National University

\*\*\*Dept. of Multimedia, Keukdong College

### 요약

본 논문은 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문에 연동될 곡률 측정 알고리즘을 소개한다. 만약 자동화된 시스템이 광학계로부터 나오는 영상을 이용하여 내부 처리를 거친 후 정확한 시각 측정치를 검사자에게 알려줄 수 있다면 잘못 측정되는 측정 횡수를 크게 줄일 수 있을 것이다. 본 연구는 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그레이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하여 자동 시각 굴절력 곡률계에 연동될 각막 곡률과 굴절력 측정 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘에서는 광학계로부터 도출된 링 모양 광원의 화상을 처리하기 위해서 새로운 방법을 사용하는 대신에 구면 굴절력 측정을 위해서 6 개의 점으로 구성된 화상을 처리하는 방식으로 변형 적용시킨다. 이 때 링의 띠를 6 개의 덩어리 점으로 변형하는 과정만을 제외하면 구면 굴절력 영상을 처리하는 방식과 같게 된다. 이는 알고리즘의 간결화와 측정 시간을 줄이는 효과를 얻게 된다. 그리하여 본 각막 측정 알고리즘은 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 각막 측정을 가능하게 하였다.

### 1. 서론

일반적으로 시각 측정시 정확한 굴절력 값과 각막 곡률 값의 도출에 대한 실패율은 실제적으로 30%를 웃돈다고 한다[1][2]. 이러한 높은 실패율(miss rate)은 다양한 원인으로부터 기인될 것이다. 만약 자동 처리 시스템이 광학계로부터 나오는 영상으로부터 내부적 처리를 통해서 정확한 측정값을 알려줄 수 있다면 측정 오류를 크게 줄일 수 있을 것이다.

이에 본 논문은 영상처리 기법을 이용하여 좀 더 나은 곡률 측정 값을 구하는 알고리즘을 개발하였다. 첫째, 본 알고리즘은 처리해야 할 링 광원 화상을 굴절력계 측정 화상으로 변환하는 과정을 행한다. 이는 링 모양의 띠를 6 개의 점을 가지고 있는 모양으로 간주하여 계산하려는 것이다. 이것은 6 점으로 구성된 굴절력계의 측정 화상을 처리하는 알고리즘에 적용시키는 방법이다. 이 후 굴절력계에서의 처리 방식과 같이 본 알고리즘은 정확한 시각 측정값 도출

을 위해서 먼저 광학계로부터 도출되는 영상을 판독하기 용이한 상태로 미리 바꿔주기 위해서 형태학적 필터링(morphological filtering) 처리를 행한다. 이 처리는 열림(opening)처리로서 먼저 광학계로부터 나오는 원 영상에 수축(erosion) 작용을 적용시킨 후 연이어 확장(dilation)을 행하는 것이다. 이를 행함으로써 원 영상을 이루고 있는 각각의 모든 픽셀들이 원래의 영상에서보다는 훨씬 더 원형의 덩어리 형태들로 밀집되게 된다. 이렇게 원형의 덩어리들로 밀집된 영상은 잡음(noise)들을 많이 포함하고 있는 원래의 영상보다는 그레이-수준 한계(gray-level thresholding) 기법과 신호 강조(signal enhance) 기법 등의 적용이 용이한 상태가 된다. 형태학적 필터링 작용 다음 단계로 행하는 기법인 그레이-수준 한계 신호 강화 기법은 미리 실험으로 구한 그레이 값을 그레이 한계 값으로 삼아 필터링된 영상에서 그 값을 넘어서는 모든 픽셀들을 모두 일정 값의 그레이 값으로 변환시켜주는 과정이다 [3][4][5]. 이러한 과정을 거친 영상을 이용하여 본 논문은 굴절력계와 곡률계

의 측정 원리를 이용하여 효율적인 시각 측정을 할 수 있었다.

본 논문은 2 장에서 각막 곡률계의 측정원리에 대해 설명하고 3 장에서 알고리즘 개발의 결과를 비교하고 알아본다.

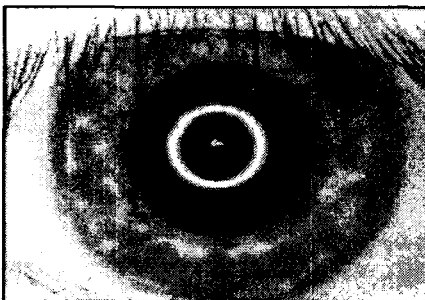
## 2. 측정 원리

굴절력계와 곡률계의 측정 원리는 전자 부문이 아닌 광학 부문과 특별히 관계된 사항으로서 자동 시각 굴절력 곡률계에서는 광학 부문에서 이와 같은 측정 값들의 정보를 함축할 수 있는 화상을 만들고 전자 부문에서 이를 연산, 해석하여 실제 측정값을 도출해 내게 된다.

본 연구는 이러한 측정 원리들이 영상부문으로부터 도출되어져 나오는 그림 1 과 같은 도형의 형태 정보에 함축되어져 있다는 걸 발견하였고 실제 측정에서는 원 또는 타원의 형태로 보여지는 도형의 몇 가지 정보로부터 실험을 통해 증명된 방법으로 측정값을 얻게 된다. 보통 도형을 타원으로 간주했을 때 장축과 단축의 길이를 구하게 되고 이 길이를 픽셀당 길이로 계산하여 굴절력 값 등을 계산해 측정값들을 도출해 낼 수 있게 된다[6][7][8].

## 3. 방법

그림 1 에서 보듯이 눈동자 중앙을 중심으로 링(ring)모양의 광원이 존재함을 볼 수 있는데, 광학계에서 피검안의 곡률값의 차이에 따라 링의 크기와 모양을 결정하게 된다. 소프트웨어 시스템은 광학계로부터 도출되어 나온 이러한 영상으로부터 크기와 모양을 파악하여 각막의 대, 소곡률 반경, 각막의 강, 약 굴절력 등을 구할 수 있게 된다.

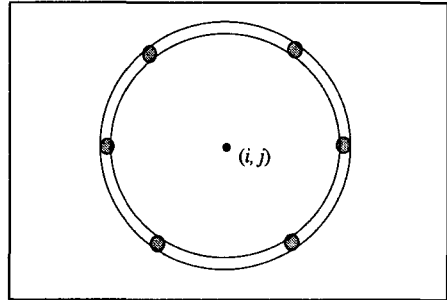


[그림 1] 광학계로부터의 곡률계 화상 예

광학계로부터 도출되는 곡률계의 화상은 링의 형상을 하고 있는데, 이를 가지고 실제로 측정하는 것은 링의 장축과 단축의 반의 값으로서 각막의 대, 소 곡률 반경을 구할 수 있다. 나아가, 이를 통해 구한 대, 소 곡률 반경 값을 가지고 식에 대입하여 각막의 강, 약 굴절력  $D$  를 구할 수 있다.

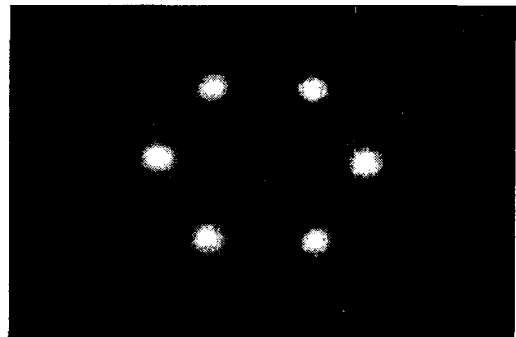
여기서 본 시스템은 링 광원을 다루는 새로운 소프트웨어

알고리즘을 특별히 고안하지 않았고 링 광원의 영상도 앞서 소개하였던 굴절력을 구하는 영상처럼 6 개의 덩어리 점을 가지고 있다고 그림 2 처럼 간주하여 같은 알고리즘을 적용할 수 있도록 변형시켰다. 이 때, 링의 띠를 6 개의 덩어리 점으로 되어있는 것처럼 ROI 를 가지고 자동으로 접근하는 방식을 제외하면 굴절력을 구하는 영상의 처리와 같게 된다. 이는 알고리즘의 간결화와 재사용이라는 이득을 얻을 수 있다.



[그림 2] 링 광원의 변형

자동 굴절력 곡률계의 광학 부문에서 도출되는 영상은  $720 \times 480$  픽셀로 이루어져 있다. 그림 3 에서 볼 수 있듯이 이 영상은 영상 안에 6 개의 덩어리 점들을 가지고 있는 형태인데 6 개 각각의 한 점은 가로 세로 30 픽셀 정도의 크기로 되어 있고 점의 윤곽은 명확하게 형성되어 있지 않으며 많은 잡음(noise)들도 포함하고 있어서 점과 바탕의 경계가 모호하게 되어 있다. 이 6 개의 점들은 원 또는 타원을 형성하는 각 부분들이 되고 이 6 개가 이루는 도형의 크기와 위치에 따라서 측정 값이 달라지게 되는 것이다



[그림 3] 광학계로부터 도출되는 굴절력 부분 화상 예

이때 광학 부문으로부터 나오는 6 개의 덩어리 점들을 포함하고 있는 화상을 가지고 시스템이 처음으로 행하여야

할 일은 먼저 6 개의 점들의 정확한 픽셀 좌표를 알아내기 위해서 6 개의 덩어리 점들이 위치하고 있다고 추측되는 부분만을 접근하는 것이다. 이러한 ROI(Region of Interest) 선별은 시스템의 전체 수행 속도에 커다란 영향을 미치는 사항이다. 본 논문은 이를 6 개의 덩어리점들이 60 도의 각도만큼씩 떨어져 있다는 것을 이용해 자동으로 선별해낸다. 6 개의 ROI 가 정해진 후엔 덩어리 점을 이루는 여러 픽셀들 중 필요 없는 노이즈들을 제거하고 필요한 픽셀 선별을 위하여 덩어리점들은 영상처리가 가능한 상태로 변환되어져야 한다 [9][10]. 이를 위하여 형태학적 필터링 기법들이 적용될 수 있다. 우리는 여기서 보다 처리가 용이한 상태로 만들기 위해서 먼저 열림(opening) 형태학적 필터링 기법을 적용시켰다. 열림 형태학적 필터링을 행한 후에 얻은 덩어리점 영상은 이제 가장자리에 위치하고 있던 여러 잡음들을 제거한 상태다[9][10]. 이후엔 그레이 레벨의 그러나, 얻어진 덩어리점의 형태는 아직도 정확한 원의 중심점을 알려줄 수 있는 상태는 아니다. 왜냐하면, 원래 덩어리점의 크기와 형태를 정확히 알 수는 없기 때문이다. 이런 이유로 덩어리점의 크기와 영역을 정확히 구분 지을 수 있는 한계 값을 실험을 통해 분명히 정해야 한다. 그러므로, 앞선 많은 실험을 통해 덩어리점으로 간주할 수 있는 크기와 위치를 파악하여 그레이 한계 값을 정해야한다.

덩어리점은 그레이값으로 150 에서 255 값까지 다양한 값을 포함하고 있게 된다. 그러므로, 원래의 덩어리점의 모양과 크기를 가장 근사하게 도출할 수 있는 그레이값의 선택을 하여야만 했고, 우리는 실험을 통해서 그레이값 150 에서 240 사이 중 한 그레이값을 선택할 수 있었다. 이렇게 구한 덩어리 점을 가지고 한 그레이 값보다 더 큰 값을 가지고 있는 덩어리점 안의 픽셀들은 255 같은 극단적인 한 값으로 통일시켜 신호를 강조하였다. 이는 덩어리점과 비 덩어리점을 명확히 구별하고자 함이고 덩어리점으로 간주된 픽셀들을 한 값으로 통일시켜 신호를 강조함으로써 덩어리점에 대한 영상처리와 연산 적용을 용이하게 하고자 함이다.

다음으로 6 개의 덩어리 점들로부터 각각의 중심점을 구한 후 구해진 6 개의 덩어리 중심 픽셀점들이 만들어 내는 도형인 원 또는 타원의 중심점을 구한다. 이 때, 도형의 중심점은 서로 마주보며 존재하는 대각선상의 점들이 이루는 선분들의 교차점으로 정한다. 이렇게 구한 도형의 중심점과 6 개의 점들을 이용해서 도형의 장축과 단축을 도출해 내고 이를 이용해서 굴절력과 각막 곡률 값 등을 측정 원리에 따라 구한다.

굴절력 측정을 위해서 중심점 (i, j)로부터 도형(타원이나 원)을 구성하는 한 왼쪽 점까지의 픽셀 환산 길이를 구했을 때, 그 픽셀 길이를 k 라고 가정하고, 사전에 실험으로 도출해 낸 정시안의 장경 픽셀 환산 길이를 m 이라 한다면, 그 2k 의 길이가 m 보다 길면 원시, 짧으면 근시로서 판정하고, k 에서 m 을 뺀 절댓값의 크기에 따라 원시와 근시의 굴절력 도수가 정해지게 되는 것이다

#### 4. 실험 결과

이 절에서는 본 시스템 상의 메커니즘에 따라 처리된 결과물 기술한다. 본 논문은 또한 구면도수의 곡률 측정 실험을 통해서 다음과 같은 결과를 얻었다

표 1 는 각막 곡률을 측정한 결과표이다. 기준으로 7.6 의 각막 곡률값을 가지고 있는 모형안을 위치시키고 여기에 다양한 렌즈들을 덧씌움으로써 여러 측정값을 보이게 했는데, 각막 곡률값의 측정값들에 대한 평균 오차를 통해 정확성이 향상됨을 알 수 있다. 표 2 은 각막의 굴절력 측정 결과 표이다. 기준으로 42.5 의 각막 굴절력을 가지는 모형안을 위치시키고 다양한 렌즈들의 덧씌움으로 여러 측정값을 얻었다. 이 또한 근소하나마 정확성 향상을 보이고 있다.

<표 1> 각막 곡률 측정

(단위: mm)

측정안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
7.86	7.85	7.84	7.84
7.90	7.94	7.91	7.91
8.04	8.02	8.02	8.02
7.78	7.79	7.77	7.77
8.10	8.08	8.11	8.11
7.74	7.74	7.73	7.73
7.84	7.82	7.83	7.83
8.05	8.07	8.03	8.04
7.50	7.50	7.49	7.50
7.76	7.72	7.75	7.75
<b>평균오차</b>	<b>0.018</b>	<b>0.014</b>	<b>0.011</b>

<표 2> 각막 굴절률 측정

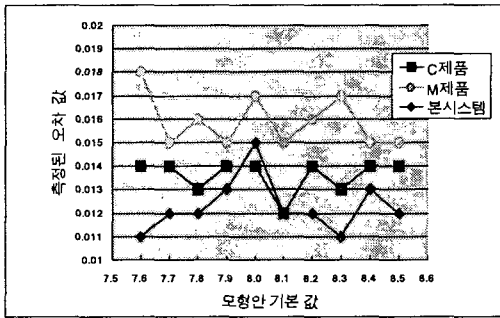
(단위: 디옵터)

측정안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
42.37	42.35	42.38	42.38
43.50	43.50	43.51	43.51
42.00	42.02	42.02	42.02
43.62	43.65	43.63	43.63
43.37	43.37	43.36	43.36
42.04	42.00	42.06	42.05
42.25	42.24	42.27	42.27
42.55	42.57	42.57	42.56
42.60	42.60	42.60	42.60
43.43	43.44	44.44	44.44
<b>평균오차</b>	<b>0.015</b>	<b>0.012</b>	<b>0.010</b>

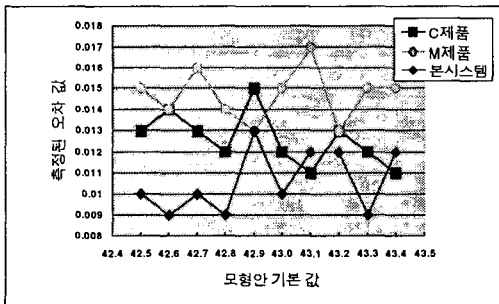
그림 4 와 5 는 표 1 와 2 에서 보여줬던 실험의 확장을 나타낸다. 여러 측정 실험값들에 대한 평균 오차들의 나열이 보여주듯 각막 곡률의 대,소 반경 측정에서도 근소하나마 정확성의 향상을 볼 수 있었고 각막의 굴절력 측정치에

서도 향상된 측정치를 얻을 수 있었다.

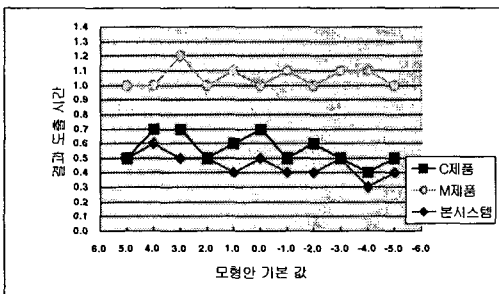
그림 6 는 측정자가 결과 값을 얻기 위하여 측정 버튼을 누른 후 화면에 결과 값이 도출되는 시간을 측정 한 것이다. 본 소프트웨어의 반응 시간이 대체적으로 기존의 두 시스템들보다 더 짧음을 볼 수 있다. 기존 제품들의 반응 시간은 평균 0.8 초인 반면 본 시스템의 반응 시간은 평균 0.45 초로서 본 시스템이 기존의 두 제품들에 비해 43.8%의 속도 향상을 보임을 알 수 있었다. 그리하여, 결과적으로 본 시스템의 결과가 기존 제품의 결과값들보다 더 오차가 적고 수행시간도 향상됨을 볼 수 있다



[그림.4] 각막 곡률의 평균 오차



[그림 5] 각막 굴절력의 평균 오차



[그림 6]. 측정 결과 도출 시간 (초)

5. 결론

본 논문에서는 링 광원으로 구성된 각막 곡률계 측정 영상

을 처리하기 위하여 새로운 알고리즘을 사용하지 않고 이미 굴절력 측정을 위하여 고안된 알고리즘을 재사용한다. 링광원을 6 개의 점의 형태로 변형하여 굴절력계 측정 알고리즘에 적용함으로써 시스템 수행 시간을 줄 일 수 있고 간결화를 이룰 수 있었다. 6 개의 점으로 변환한 후에는 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그레이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하고 시각 측정 원리를 적용하여 자동 시각 굴절력 곡률계의 각막 곡률을 측정 하였다. 한 개의 화소 차이 등으로 인하여 커다란 측정 차이를 가져올 수 있는 광학 관련 시스템에서 소프트웨어에서의 영상 처리의 향상으로 실험에서 정확성 향상을 보였다. 또한, 사용자에게 측정 결과값을 알려주는 도출 시간에서도 나온 결과를 얻었다. 그러므로, 본 연구에서 개발한 자동 시각 굴절력 곡률계의 각막 곡률계측정 알고리즘은 광학부문, 전자 부문 하드웨어 등과 연동되어 정확한 측정 값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 구면도수 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 측정을 가능하게 하였다.

향후에는 정확성 향상에 대한 연구를 행함과 동시에 모형안이나 실험자의 안구의 부정확한 위치나 움직임에도 크게 영향을 받지 않도록 하는 알고리즘에 대한 연구가 행해져야 한다.

참고 문헌

- [1] CANON Service Manual, Canon Publishing.
- [2] Mirae optics company, Auto Refractometer/Keratometer MRK 3100 User's Manual.
- [3]J.R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, pp. 68 - 115, John Wiley & sons, Inc.
- [4]Howard E.Burdick, Digital Imaging Theory and Application, pp. 153 - 194, McGraw-Hill.
- [5] Scott.E. Umbaugh, Computer Vision and Image Processing: A Practical Approach Using CVIDtools, pp. 197 - 235, Prentice Hall.
- [6] 성풍주, 옵토메트리 개론 & 안경재료학, 대학서림, 1990.
- [7] 성풍주, 안경 광학 I, 대학서림, 1990.
- [8] 김관철, 최신 광학 기기, pp. 192 - 211, 신광출판사.
- [9] M.L. Giger, et al., Computerized detection of pulmonary nodules in digital chest images: Use of morphological filters in reducing false-positive detections, pp. 861 - 865, Medical Physics, Vol. 17, No.5, Sep/Oct 1990.
- [10] H. Yoshimura, Computerized Scheme for the Detection of Pulmonary Nodules : A Nonlinear Filtering Technique, pp 124 -129, INVESTIGATIVE RADIOLOGY, Vol 27, Feb, 1992.

본 연구는 BK21 충남대학교 정보통신인력양성 사업단의 연구 지원으로 수행되었습니다.