

그레이 수준 한계 기법을 이용한 자동 굴절력 측정 알고리즘

성 원*, 박종원**

충남대학교 *컴퓨터공학과, **정보통신공학과

e-mail : wseong@ce.cnu.ac.kr

A Measurement Algorithm using Gray-level Thresholding in Automatic Refracto-Keratometer

Won Seong*, Jong-Won Park**

*Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

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

요약

최근 시각 관련 측정기 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 본 연구는 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부문에 연동될 굴절력 측정 알고리즘을 개발하였다. 만약 자동화된 시스템이 광학계로부터 나오는 영상을 이용하여 내부 처리를 거친 후 정확한 시각 측정치를 검사자에게 알려줄 수 있다면 잘못 측정되는 측정 횟수를 크게 줄일 수 있을 것이다. 본 연구는 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그레이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하여 자동 시각 굴절력 측정 시스템에 연동될 측정 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘에서는 광학계로부터 도출된 영상으로부터 첫째로 형태학적 필터링 처리를 행하여 처리가 어려운 원 영상을 좀 더 다루기 쉬운 상태로 바꿔준 후 영상에 가해주는 그레이 수준 한계 기법을 통해 신호를 강조함으로써 영상의 그레이 값 분포가 다양함으로 인해서 발생하는 오차를 줄이게 된다. 그리하여 본 전자 부문 소프트웨어는 정확한 측정값 도출이 어려운 시각 영상에 적용되어 효과적으로 오차를 줄임으로써 보다 효율적인 시각 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 원인으로 부터 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 굴절력 측정 값을 구하는 알고리즘을 개발하였다. 본 알고리즘은 정확한 시각 측정값 도출을 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 화소들이 원래의 영상에서보다는 훨씬 더 원형의 덩어리 형태들로 밀집되게 된다.

이렇게 원형의 덩어리들로 밀집된 영상은 잡음(noise)들이 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 굴절력계의 측정 원리를 이용하여 효율적인 시각 측정을 할 수 있었다.

본 논문은 2 장에서 굴절력 곡률계의 측정원리에 대해 설명하고 3 장에서 알고리즘 개발의 결과를 비교하고 알아 본다.

2. 측정 원리

굴절력계의 측정 원리는 전자 부문이 아닌 광학 부문과 특별히 관계된 사항으로서 자동 시각 굴절력 곡률계에서는

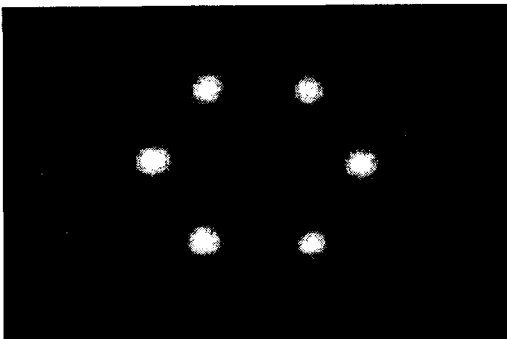
광학 부문에서 이와 같은 측정 값들의 정보를 함축할 수 있는 화상을 만들고 전자 부문에서 이를 연산, 해석하여 실제 측정값을 도출해 내게 된다.

광원에서 나온 광선속은 피검안의 망막에서 반사된다. 이 때 피검안의 굴절 상태에 따라 정시(정상안)에서는 평행 광선속, 근시에서는 수렴 광선속, 원시에서는 발산 광선속으로써 사출된다. 이 피검안으로부터 사출된 광선속은 분할되어, 6 개의 덩어리 점으로 되어 TV 카메라에 투영되어 결상된다. 이 6 개의 덩어리 점의 좌표 위치를 타원(또는 원)으로 계산하여, 굴절력 측정 값인 구면도수(SPH), 난시도수(CYL), 축각도(AX)를 구한다[6][7][8].

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 방법으로는 측정값을 얻게 된다. 보통 도형을 타원으로 간주했을 때 장축과 단축의 길이를 구하게 되고 이 길이를 화소당 길이로 계산하여 굴절력 값 등을 계산해 측정값들을 도출해 낼 수 있게 된다.

3. 방법

자동 굴절력 곡률계의 광학 부문에서 도출되는 영상은 720 × 480 픽셀로 이루어져 있다. 그림 1 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



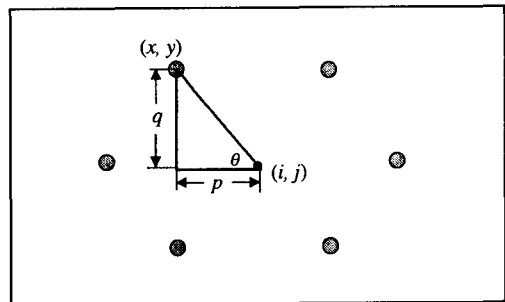
[그림 1] 광학계로부터 도출되는 굴절력 부분 화상 예

이때 광학 부문으로부터 나오는 6 개의 덩어리 점들을 포함하고 있는 영상을 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 다음과 같은 메커니즘으로 수행하였는데, 6 개의 점들이 영상의 중심에 위치하므로 영상을 분할하여 영상의 중간줄에 위치하는 수평상의 두 점을 먼저 파악하여 가상의 중점 위치를 파악한 후 그 가상 중점으로부터 C 프로그램 코드를 이용하여 대략적으로 6 점의 ROI 들의 위치를 자동으로 계산해 내게 된다. 이 때 계산해 낸 위치는 ROI 중심의 위치좌표가 되는 것이다. 이는 도형을 이루는 6 개 덩어리점이 대략적으로 60 도의 차이를 두고 구성되어진다는 것에 기반하여 수행되게 된다. 그러나, ROI 의 위치가 아닌 ROI 속에 위치하고 있는 실제 덩어리 점들의 정확한 중심 위치 좌표는 ROI 에서의 여타 테스트 측정 후에 알 수 있게 된다.

```
ptr->x = (i - ((distance/2)*1.732)); ----- ①
ptr->y = (j - (distance/2)); ----- ②
ptr++;
```

위 프로그램 코드는 6 개의 ROI 들을 자동으로 계산해 내는 함수의 일부분이다. 이러한 자동 함수는 임시로 구해진 중점으로부터 6 점의 위치를 계산해 내기 위해서 미리 수행되어야만 한다. 함수의 입력 인자들 중 i 와 j 는 임시 중점의 좌표 값이고 이 들 값들을 이용하여 각각 위치가 다른 6 개의 ROI 들을 계산해 내게 된다. 프로그램 코드 중 줄 ①과 ②는 6 개의 점들 중 왼쪽 위에 위치하는 첫번째 덩어리 점을 측정하고자 하는 ROI 의 위치 좌표를 계산하는 식이다. 프로그램 코드 중 1.732 는 tan60 도의 값이며 distance 는 임시 중점으로부터 각각의 ROI 중점까지의 임시 거리이다. 그림 2 는 첫번째 ROI 의 중점 좌표 (x,y)를 구하는 것을 설명해 준다. 그림 2 에서 세 번째 덩어리점의 대략적인 위치와 임시 중점까지의 거리가 임시 distance 값이 되는데, p 는 distance 를 반으로 나눈 distance/2 가 된다.

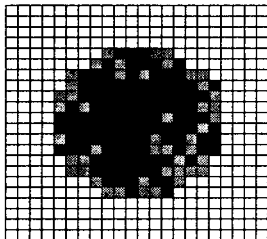


[그림 2] 자동 ROI 위치 계산법

이 때, $\tan\theta$ 즉, $\tan 60$ 도는 q 를 p 로 나눈 q/p 이다. 여기서 q 는 $p \times \tan 60$ 으로 계산되고 이것은 $p \times 1.732$ 즉 $(\text{distance}/2) \times 1.732$ 가 된다. 나아가, (x,y) 좌표의 x 좌표값은 임시 중점 i 값에서 q 를 뺀 값으로 계산할 수 있으므로 $x = i - q = i - ((\text{distance}/2) \times 1.732)$ 식으로 표현할 수 있다. y 좌

표값은 임시 중점 값 j 에서 p 만큼의 값을 빼서 구할 수 있으므로 $y = j - (\text{distance}/2)$ 가 된다. 이와 같은 방법을 이용하여 나머지 5 개 덩어리 점들의 ROI 들의 위치 측정도 첫번째 ROI 의 중점을 구하는 식과 비슷한 요소들의 조합으로 구할 수 있게 된다. 프로그램 코드에서는 ptr 의 값을 하나씩 증가시킴으로써 첫번째부터 순서대로 다음 ROI 의 좌표값을 구하는 식으로 진행되게 된다.

6 개의 ROI 가 정해진 후엔 덩어리 점을 이루는 여러 픽셀들 중 필요 없는 노이즈들을 제거하고 필요한 픽셀 선택을 위하여 덩어리점들은 영상처리가 가능한 상태로 변환되어야 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. 그러나, 얻어진 덩어리점의 형태는 아직도 정확한 원의 중점을 알려줄 수 있는 상태는 아니다. 왜냐하면, 원래 덩어리점의 크기와 형태를 정확히 알 수는 없기 때문이다. 다시 말하면, 우리가 처음부터 처리하고자 하는 덩어리점 영상 자체가 실제로는 그림 3 와 같이 상당히 번진(blurred) 현상을 가지고 있으며 다양한 그레이 값들을 포함하고 있다. 그러므로, 원래의 덩어리점 영상에서 잡음들을 제거한 형태라고 할지라도, 원래의 정확한 위치를 말해주는 것은 무리가 있게 된다. 예를 들면, 그림 3 과 같이 덩어리점의 영상을 얻었다고 할 때 어느 그레이값까지를 덩어리점으로 할 것인가의 선택에 따라 덩어리점의 크기와 위치가 달라지고 이는 원하는 덩어리점의 중점값의 차이를 가져오게 된다. 이런 이유로 덩어리점의 크기와 영역을 정확히 구분 지을 수 있는 한계 값을 분명히 정해야 한다. 그러므로, 앞선 많은 실험을 통해 덩어리점으로 간주할 수 있는 크기와 위치를 파악하여 그레이 한계 값을 정해야 한다.



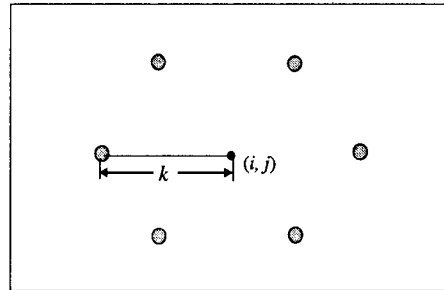
[그림 3] 여러 그레이값들을 포함하고 있는 덩어리점

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 화소들은 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 중점을 구한 후 구해진 6 개의 덩어리 중점 픽셀점들이 만들어 내는 도형인 원 또는 타원의 중점을 구한다. 이 때, 도형의 중점은 서로 마주보며 존재하는 대각선상의 점들이 이루는 선분들의 교차점으로 정한다. 이렇게 구한 도형의 중점과 6 개의 점들을 이용해서 도형의 장축과 단축을 도출해 내고 이를 이용해서 굴절력과 각막 곡률 값 등을 측정 원리에 따라 구한다.

굴절력 측정을 위해서 중점 (i, j) 로부터 도형(타원이나 원)을 구성하는 한 왼쪽 점까지의 픽셀 환산 길이를 구했을 때, 그림 4 처럼 그 화소 길이를 k 라고 가정하고, 사전에 실험으로 도출해 낸 정시안의 장경 화소 환산 길이를 m 이라 한다면, $2k$ 의 길이가 m 보다 길면 원시, 짧으면 근시로서 판정하고, k 에서 m 을 뺀 절대값의 크기에 따라 원시와 근시의 굴절력 도수가 정해지게 되는 것이다



[그림 4] 거리 측정 과정

4. 실험 결과

이 절에서는 본 시스템 상의 메커니즘에 따라 처리된 결과물을 기술한다. 본 시스템은 난시 도수 측정 실험에서는 기존의 시스템과 별다른 차이를 보이지 못했으나 구면도수 측정 실험에서는 기존의 시스템보다 근소하나마 정확성 향상을 보였다.

먼저, 전자부문 소프트웨어의 결과는 구면 도수의 굴절력 측정 실험을 통해서 얻은 결과로써 알 수 있다.

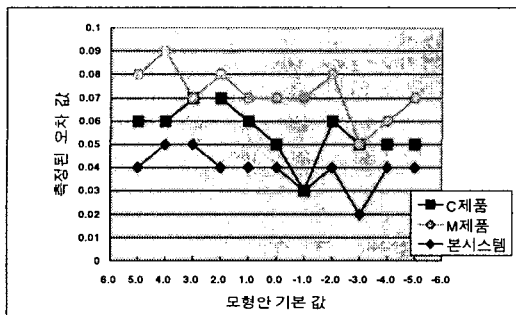
표 1 은 구면도수값 +5.00 을 가진 모형안(Model eye)을 기준으로 위치시키고 다양한 값으로 변화시킬 수 있는 구면 렌즈들을 덧씌움으로써 얻어낸 결과로서 본 시스템과 기존의 시스템들에 대한 실험 결과이다 표 1 에서 평균오차 행은 본 시스템, M 사, C 사의 측정 결과 얻은 구면도수 값과 원래 모형안이 가지고 있는 실제 구면 도수 값과의 평균오차이다. 정확한 측정이 어려운 광학 분야에서 크게 고려하지 않아도 될만큼의 미미한 차이를 보이고 있다.

<표 1>. +5.00 모형안에서 구면도수의 굴절력 측정
(단위 :디옵터)

모형안	M사 제품	C사 제품	본 시스템
+5.00	+5.00	+5.00	+5.00
+4.50	+4.25	+4.50	+4.50
+4.00	+4.00	+4.00	+4.00
+3.50	+3.50	+3.25	+3.50
+3.00	+2.75	+3.00	+3.00
+2.50	+2.50	+2.50	+2.50
+2.00	+2.00	+2.50	+2.25
+1.50	+1.50	+1.75	+1.50
+1.00	+1.00	+1.00	+1.25
+0.50	+0.75	+0.50	+0.50
+0.25	+0.25	+0.25	+0.25
-0.50	-0.25	-0.50	-0.50
평균오차	0.08	0.06	0.04

이와 같이 +5.00 구면렌즈 이외의 다른 구면 렌즈들을 이용한 실험에서도 정확성 향상을 보였다.

그림 5 는 표 1 에서의 값을 얻는 실험을 확장한 결과를 나타낸 것이다. 이 실험은 구면도수값 +5.00 의 모형안 대신에 다양한 구면도수값의 모형안들의 평균오차값들을 표시하였다. 여기서 기존 제품들의 평균오차가 0.064 디옵터인 반면 본 시스템의 평균오차는 0.039 디옵터로서 평균 0.025 디옵터 만큼의 정확성 향상을 보임을 알 수 있다.



[그림 5] 구면도수의 굴절력 평균 오차

또한 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

5. 결론

본 논문은 형태학적 필터링(morphological filtering)과 그래

이-레벨의 신호 강조(signal enhance) 기술들을 이용하고 시각 측정 원리를 적용하여 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자 부분 소프트웨어의 굴절력 측정 알고리즘을 개발하였다. 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 나은 결과를 얻었다. 그러므로, 본 연구에서 개발한 자동 시각 굴절력 곡률계의 전자부분 소프트웨어의 굴절력 측정 알고리즘은 광학부분, 전자 부분 하드웨어 등과 연동되어 정확한 측정값 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 CVIptools, 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.