

고굴절 프리즘을 이용한 지문인식 광학계 분석 및 설계

Design and analysis of the optical system using a high refractive prism for fingerprint identification

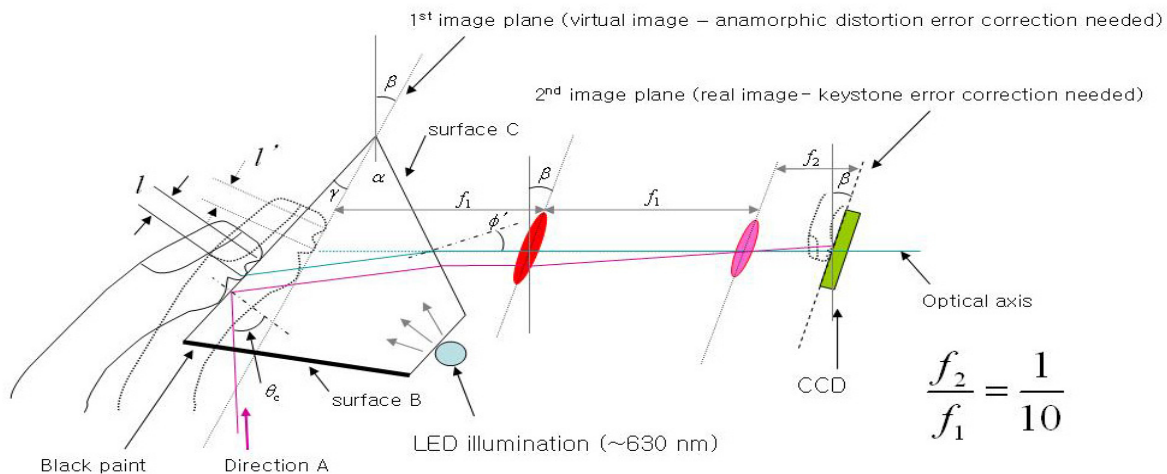
강명훈*, 이은성**, 황재문***, 김진수*, 송한정*, 조관식*, 전민현*

*인제대학교 대학원 나노시스템공학과, **한국표준과학연구원, ***한국컴퓨터비전

whunmk@gmail.com

본 연구는 지문 인식 시스템 중에서 광학계의 설계에 대한 것이다. 이는 프리즘, 렌즈, 그리고 CMOS 이미지 센서(혹은 CCD) 등으로 구성되었고, 그림 1에 개략적인 구조를 나타내었다. 지문에 물이 묻어 있는 경우에 영상의 품질이 현저히 저하되는 등의 실제적 문제점을 해결하는 데 있어서, 프리즘의 굴절률을 높임으로써 축소왜곡(anamorphic distortion), 키스톤 왜곡(keystone distortion)을 최적한 프리즘 꼭지각 α 각으로 제작하여 해결할 수 있음을 제안하고자 한다.

LED로 지문을 비추었을 때, 두 종류의 빛이 렌즈를 통해 이미지 센서에 결상된다. 두 종류의 빛은 지문의 융기(ridge)와 골(valley)에서 발생한 빛이다. 지문의 융기 부분에서는 표면의 불규칙한 미세구조로 인하여 난반사(scattering reflection)가 일어난다. 따라서 어느 각도로 비추어도 빛은 이미지 센서에 들어 오게 된다. 지문의 골부분과 관련하여서는 빛이 프리즘 경계면에서 거울반사(specular reflection)를 일으키게 된다. 따라서 이 빛이 이미지 센서로 들어가게 하려면 반드시 A 방향으로 빛을 비추어야 한다. 그래서 프리즘을 이용한 광학계에서는 B면에 검정칠을 하고 LED 조명을 임계각 θ_c 보다 작게 되도록 하여 전



$\phi'(\alpha), \beta(\alpha), \gamma(\alpha)$ and Anamorphic distortion l'/l : all functions of α

그림 1. 프리즘을 이용한 지문인식 광학계의 결상 원리

반사를 방지한다. 이렇게 하면 용기 부분과 골 부분의 대조가 뚜렷하게 된다.

용기 부분과 골 부분은 두 단계를 거쳐 이미지 센서에 상을 맺게 된다. 첫 단계는 C 면에 의해 형성된 일차 이미지로서 허상이고 축소왜곡된 상이다. 이 상은 두 개의 렌즈를 통과하여 이차 상을 맺는데, 일반적으로 키스톤 왜곡된 상을 맺게 된다. 이 두 가지 원인으로써 지문 영상의 왜곡 현상을 설명할 수 있다. 지문 영상의 왜곡은 지문의 특이점의 위치와 특이점 간의 간격이 원래의 지문과 차이가 있다는 것이며, 특이점의 왜곡은 지문인식기에 저장된 사람의 지문과 출입할 사람의 지문이 같은지를 판단할 때 오동작을 일으키는 주요 원인이 된다. 이 두 가지 왜곡은 프리즘과 렌즈로 구성된 광학계에서 발생하는 것으로, 지문인식 프로그램이 처리할 수 있는 수준까지 충분히 줄여 주어야 한다. 광학적 지문인식기의 또다른 문제점은, 지문과 프리즘 사이에 물이 묻어있는 경우, CMOS 이미지 센서로 잘 인식되지 못할 정도로 대조도가 떨어지는 문제가 있어서, 실외에서는 사용이 제한이 되는 경우가 있다.

$$\phi'(\alpha) = \sin^{-1}[n \sin(\alpha - \theta_c)]$$

$$\theta_c = \sin^{-1}(1/n), \quad n: \text{prism index}$$

$$\frac{1}{[\tan(\alpha - \gamma(\alpha))]} = \frac{n}{\tan \alpha \cos^2 \phi'} - \frac{\tan^2 \phi'}{n \tan \alpha} + \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \phi'}}{n \cos \phi'} \tan \phi' - \tan \phi'$$

$$\beta(\alpha) = \alpha - \gamma(\alpha) - \phi'(\alpha) \quad \leftarrow \text{Image tilt}$$

$$\mathcal{M}(\alpha) = \frac{l'}{l}(\alpha) = \frac{\cos \theta_c \cos \phi'(\alpha)}{\cos[\sin^{-1}(\frac{\sin \phi'(\alpha)}{n})] \cos[\alpha - \gamma(\alpha) - \phi'(\alpha)]}$$

Everything expressed function of apex angle α

축소 왜곡과 키스톤 왜곡을 최소화하며 물이 묻은 경우에도 지문 영상을 얻기 위하여 계산한 결과를 그림 2로 나타내었다. 굴절률이 1.616 인 F2 유리를 프리즘 재질로 하고, 프리즘에 물이 묻는 경우를 대비하여 물의 굴절률은 1.33으로 잡아 계산한 결과, 프리즘의 꼭지각 α 를 최적화하면, 축소왜곡과 키스톤 왜곡을 최소화 할 수 있으며, 또한 물이 묻은 경우에도 그림 5와 같은 지문영상 결과를 얻을 수 있었다.

그림 2. 프리즘을 이용한 지문인식 광학계 계산 결과



그림 3. 지문에 물과 이물질이 없는 경우



그림 5. 지문에 물이 묻은 경우

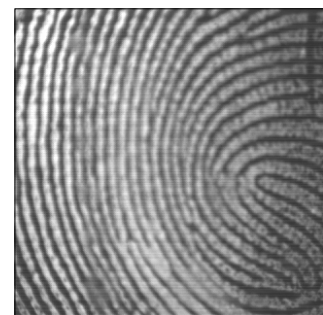


그림 4. 지문에 물이 묻은 경우 ($\alpha=57^\circ$ 인 프리즘)

참고문헌

1. 강명훈, 이은성, “전반사 프리즘을 이용한 지문인식용 광학계의 결상분석”, 한국광학회 2005년 하계 학술 발표회, pp 22-23.
2. 황재문, 이은성, 김태진, “지문인식장치용 광학시스템”, 특허출원 제 10-2005-0035444호.
3. Innovation in fingerprint capture devices. Pattern Recognition 36 (2003) 361-369.
4. Sarun Sumriddetchkajorn, Suwannee Phoojaruenchannachai, " Geometrical optics analysis for reduction of trapezoidal image distortion in single prism-based optical fingerprint scanner", Optics and Lasers in engineering 45 (2007) 229-239.