

포터블 카메라 영상 기반 모발 두께 측정 기법

김형준, 김우걸, 유제혁, 황인준
고려대학교 전기전자공학과

e-mail:(hyungjun89, woogulzzang, rjh1026, ehwang04)@korea.ac.kr

Hair thickness measuring scheme based on portable camera image

Hyungjun Kim, Woogeol Kim, Jehyeok Rew and Eenjun Hwang
School of Electrical Engineering, Korea University

요 약

기존의 영상처리 및 컴퓨터 비전 기술은 X-ray, 군사용 사진, CCTV 영상과 같은 제한적인 상황에서 주로 사용되었다. 스마트폰이 보급되면서 고해상도의 사진을 어디서든 촬영할 수 있게 되었고, 고성능 디바이스를 이용하여 촬영된 영상을 즉시 가공 및 처리가 가능하게 되었다. 그 결과 영상처리 기술이 이전보다 다양하고 좀 더 일반적인 분야에서도 쓰이게 되었다. 그러나 영상처리 기술은 조건이 제한될 수록 처리가 용이하며, 일반적인 이미지들을 처리하기 위해서는 고려해야 할 사항이 많다. 특히 두피 영상 분석의 경우 머리카락이 겹치는 부분이나 그림자, 머리카락이 밀집하여 상대적으로 어두워지는 부분 등을 고려해야 하는 어려움이 있으며 현재까지 영상처리를 이용한 두피영상 분석에 대한 연구는 많지 않은 것이 현실이다. 본 논문에서는 스마트폰에 부착하는 포터블 카메라로 촬영된 두피영상을 분석하여 모발의 두께를 측정하는 기법을 제시한다. 먼저 영상에 대한 전처리로 Contrast stretching과 이진화 과정을 수행한다. 얻어진 이진화 영상에 대해 머리카락의 Skeleton을 추출하고 각 pixel의 각도(angle)를 이용하여 법선을 구한다. 계산된 법선과 머리카락 사이의 교점을 구한 후 두 점사이의 거리를 통해 모발의 두께를 계산한다. 계산된 두께와 현미경을 이용하여 측정한 모발의 실제 두께와 비교하여 제안된 기법의 정확도를 평가한다.

1. 서론

최근 보건산업은 인구의 고령화와 건강관리에 대한 사회적, 경제적 관심에 힘입어 크게 성장하고 있다. 특히 모바일 기기의 보급과 무선통신 기술, 웨어러블 스마트 기기의 발달은 모바일 환경에서 인터넷 기반 건강 진단 및 관리 서비스에 대한 관심도를 증가시키고 있다. 이러한 헬스케어 분야 중 모발 및 두피 진단 분야에서는 일반 의약품과 전문 의약품, 샴푸나 비누 등을 포함한 의약외 약품, 가발 및 두피 서비스와 같은 다양한 시장을 형성하고 있다. 모발 및 두피 시장은 매년 급격한 성장률을 보이고 있으나, 모바일 기기를 이용하여 모발 및 두피의 상태를 객관적으로 진단하는 시스템은 아직 부족하다. 본 논문에서는 사용자가 큰 비용을 들이지 않고 모바일 환경에서 모발 및 두피 상태를 진단하기 위해, 스마트폰과 호환할 수 있는 포터블 카메라의 현미경 영상을 이용하여 사용자 두피의 영상적 특징을 파악하고, 영상처리를 통해 신뢰성 있는 모발 두께 측정 방법을 제안하고자 한다.

2장에서는 영상처리를 이용하여 머리카락 추출에 관련된 연구를 소개하고, 3장에서 두께를 검출하는 과정에 대한 전체적인 설명을 한다. 4장에서는 영상처리를 용이하게 하는 전처리 과정에 대해 설명하고, 5장에서 머리카락의 두께를 검출하는 기법을 설명한다. 6장에서는 제안된 기법을

통하여 얻은 머리카락의 두께와 실제 머리카락의 두께를 비교하여 제시된 방법의 타당성을 증명한다.

2. 관련연구

두피영상에서 머리카락의 두께를 검출하기 위해서는 먼저 두피와 머리카락을 구분할 필요가 있다. 시각적으로 두피와 머리카락의 가장 큰 차이점은 밝기라 할 수 있는데, 머리카락이 두피에 비해 상대적으로 어둡다는 점을 이용하여 머리카락을 구분 할 수 있다. Shih[1]는 현미경으로 촬영된 영상을 전처리한 후 허프변환을 적용하여 머리카락을 추출하는 연구를 진행하였다. Rolf Hoffmann[2]은 머리카락을 짧게 자른 후, 영상처리를 통해 머리카락을 추출하고 이 머리카락이 시간이 지남에 따라 자라나는 정도를 파악하는 연구를 진행하였다.

머리카락 검출 기술을 응용하여 다른 분야에 적용 시킬 수도 있는데, Feng-Ying Xie[3]는 현미경 영상에서 머리카락을 제거하여 가려져 있던 흑색종(melanoma)을 검출하는 기법을 제안하였다.

3. 영상 기반 머리카락 두께 검출 과정

본 논문에서는 머리카락의 두께를 검출하기 위해 머리카락의 skeleton 과 그 skeleton이 가지고 있는 각도(angle)

을 이용한다. 그림 1은 머리카락의 두께를 검출하는 전체적인 방법을 나타내고 있다. Skeleton을 구하기 위해 먼저 카메라로 촬영된 영상에 전처리를 한 후 이진화 시킨다. 이진화된 영상에서 thinning 연산을 적용하여 skeleton을 추출 한다.



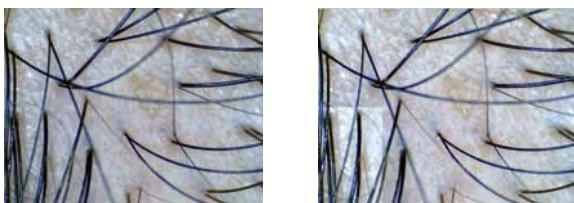
(그림 1) 전체적인 머리카락 두께 검출 과정

Skeleton의 각 픽셀들은 일정한 방향을 가지고 있는데, 이 픽셀들이 향하고 있는 방향의 수직이 되는 법선과 머리카락 윤곽이 만나는 교점 사이의 거리를 이용하여 두께를 구할 수 있다.

4. 전처리

4.1 영상의 밝기 조정

두피 영상을 촬영하면 머리카락이 밀집해 있는 부분 혹은 그림자에 영향에 의해 상대적으로 더 밝은 부분과 더 어두운 부분이 생길 수 있다. 밝은 부분의 경우 머리카락과 두피의 밝기 차이가 명확하므로 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 어두운 부분의 경우 두피와 머리카락 사이의 밝기의 차이가 크지 않아 머리카락을 식별하는데 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 어두워진 부분의 밝기를 조절하여 두피와 모발의 밝기차이를 크게 만들어야 한다.



(a) 원본영상 (b) 밝기 조정된 영상

(그림 2) 밝기 조정 예시

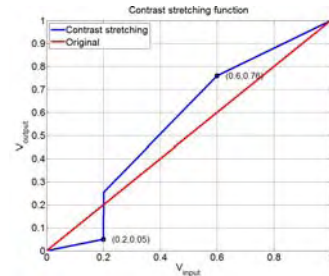
RGB 영상을 HSV로 변환 후, 변환된 영상을 $m \times n$ 개의 영역으로 나누어 평균 밝기를 비교한다. 다른 부분에 비해 특별히 어두운 부분이 있으면, 그 부분의 밝기를 밝게 만들어 두피와 머리카락을 선명하게 구분할 수 있도록 한다. 그림 2의 (a)는 원본 영상이며, (b)는 특히 어두운 부분인 왼쪽 아래 부분을 밝게 조정하여 모발과 두피의 밝기 차이를 더욱 크게 만든 영상이다.

4.2 Contrast stretching

머리카락을 검출하는데 있어 두피와 머리카락의 밝기 차

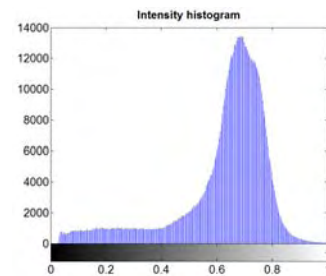
이는 핵심 요소이다. 두피 부분을 더 밝게, 머리카락 부분을 더 어둡게 함으로써 머리카락과 두피를 더욱 명확하게 구분 짓는다.

HSV로 변환된 영상에서 입력되는 영상의 밝기 성분을 v_{input} , 출력되는 영상의 밝기 성분을 v_{output} 이라 정의하면, v_{input} 과 v_{output} 의 관계는 그림 3과 같다.

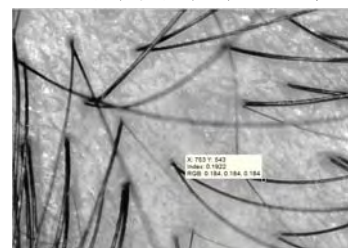


(그림 3) Contrast stretching

이 그림에서 붉은색 선은 원본 영상의 v_{input} 과 v_{output} 사이의 관계를 나타내며, 푸른색 선은 본 연구에서 사용된 밝기를 조절하는 함수를 나타낸다. 일반적으로 두피영상의 밝기는 그림 4의 (a)와 같은 밝기 분포를 가지고 있다. 그림 4의 (b)에서 볼 수 있듯이 임의의 밝기 값을 v_n 이라 하였을 때, $0 \leq v_n < 0.2$ 인 경우 이 범위의 밝기를 가지는 모든 픽셀은 머리카락을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 $0.6 \leq v_n \leq 1$ 인 모든 픽셀은 두피만을 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) 밝기영상의 히스토그램

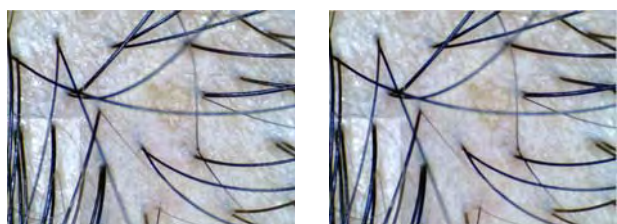


(b) 모발의 밝기

(그림 4) 밝기 히스토그램과 모발의 밝기 예시

제시된 함수를 적용하면 그림 5와 같이 Contrast stretching 처리가 된 영상을 얻을 수 있다. 결과적으로, 머리카락으로 판단될 수 있는 부분을 더욱 어둡게 하고, 나머지 부분을 전체적으로 밝게 하여 머리카락과 두피의 밝기 차이가 더욱 크게 되었다. 또한 빛이 반사되어 머리카락의 특정 부분이 유난히 밝게 나타나는데, 이러한 부분

도 Contrast stretching을 통해 줄어들었음을 확인할 수 있다.



(a) Contrast stretching 전 (b) Contrast stretching 후

(그림 5) Contrast stretching 효과 비교

4.3 이진화

두피의 값을 1, 모발의 값을 0 으로 가지는 이진영상으로 변환을 하면 영상처리를 용이하게 할 수 있다. 먼저 밝기 조정 및 Contrast stretching 처리가 된 RGB 영상을 광도 정보만을 가지고 있는 gray-scale 영상으로 변환한 후, Otsu threshold를 기준으로 이진화한다.[4]

5. 머리카락 두께 검출 방법

5.1 윤곽 및 Skeleton 추출

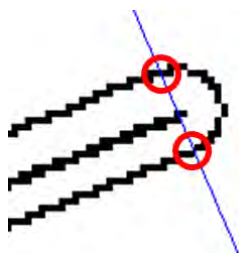
이진 영상에서 Canny Edge Detection을 통해 머리카락의 윤곽을 검출할 수 있다[5]. 또한 이진화된 영상에서 물체의 윤곽에 전경(foreground)을 삭제하는 morphological 연산인 Thining을 통해 머리카락의 skeleton을 추출할 수 있다.[6]

5.2 머리카락 두께 계산

Thining을 통해 구해진 skeleton은 1×1 픽셀 점들의 집합으로 나타나게 된다. 이러한 픽셀들은 각각 일정한 방향을 가지고 있다. 픽셀의 방향을 계산하기 위해 PCA (Principal Component Analysis) 알고리즘을 사용한다[7].

PCA 알고리즘은 전체 데이터의 평균과 공분산을 이용하여 데이터의 Eigen value와 Eigen vector를 구하는 방법이다.[8]

Skeleton 상의 각 픽셀들의 방향이 계산되면, 이 방향과 수직인 직선을 구할 수 있다. 그림 6에서 모발의 두께를 검출하는 방법을 설명하고 있는데, 파란색 선은 한 skeleton 점을 지나는 법선이며, 붉은 원은 직선과 머리카락 윤곽이 만나는 두 개의 교점이다. 두 교점사이의 거리를 통해 머리카락의 두께를 계산할 수 있다.



(그림 6) 모발 두께 계산

Skeleton 상의 모든 좌표들의 개수를 n 이라 하고, 그들의 집합 S 는 $S = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)\}$ 으로 나타낼 수 있고, 각 skeleton이 가지는 각도의 집합은 $A = \{a_1, a_2, a_3 \dots a_n\}$ 으로 나타 낼 수 있다.

각 좌표 S 의 방향에 대한 법선의 기울기 집합을 $Slope$ 라 정의하면, $Slope = \{\tan^{-1}(a_1), \tan^{-1}(a_2), \dots, \tan^{-1}(a_n)\}$ 으로 나타 낼 수 있다.

각 skeleton 픽셀 즉 점 S_n 을 지나고, 이 점의 방향에 대해 수직인 직선의 방정식 y_{normal} 은 다음과 같이 정의된다.

$$y_{normal} = Slope_n(x - x_n) + y_n \quad (1)$$

식 1을 통해 구해진 각 직선과 머리카락 윤곽사이의 교점을 NP 라 하면 NP 는 n 개의 좌표 쌍의 집합으로 나타나게 된다.

$$NP = \{(x_{11}, y_{11}), (x_{12}, y_{12}), \dots, (x_{21}, y_{21}), (x_{22}, y_{22}), \dots, (x_{n1}, y_{n1}), (x_{n2}, y_{n2})\}$$

NP 의 두 점사이의 거리를 이용하여 머리카락의 평균 두께 $Thickness_{Average}$ 를 계산할 수 있다.

$$Thickness_{Average} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i1} - x_{i2})^2 + (y_{i1} - y_{i2})^2} \quad (2)$$

이 때, $Thickness_{Average}$ 의 단위는 pixel 이고 이를 미터 단위로 변환할 필요가 있다.

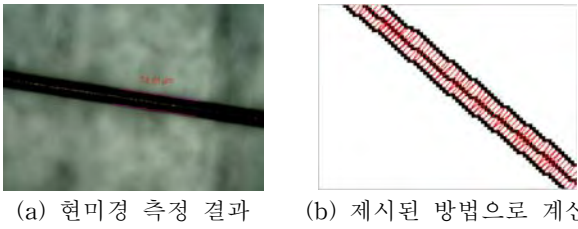
$$Thickness_{real}(\mu m) = \frac{Thickness_{Average}(px) \times UnitLength(\mu m/px)}{magnification} \quad (3)$$

여기서 magnification은 카메라의 배율이고, UnitLength는 단위 길이로 1픽셀당 일정한 양의 마이크로미터값을 갖는다. 이 수치는 실험 환경에서 사용되는 하드웨어의 조건에 따라 값이 달라진다.

6. 실험 및 결과

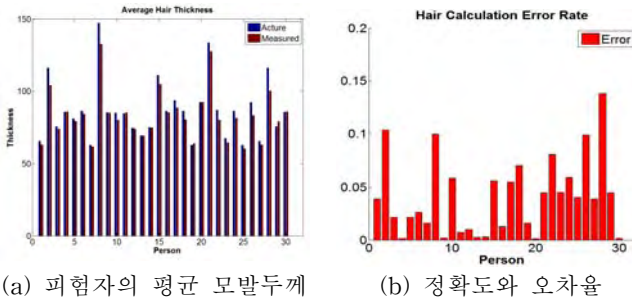
본 연구는 Matlab 2014a 환경에서 진행되었고, 안드로이드 스마트폰에 연결되는 50배율 포터블 카메라를 이용하여 영상을 촬영 하였다. 20대 남/녀 30명으로부터 두피사진을 촬영하여 모발의 두께를 측정 하였으며, 한 사람당 5가닥의 머리카락을 뽑아 전자 현미경을 이용하여 실제 두께를 측정 하였다. 측정된 실제 길이와 촬영된 영상을 제시한 알고리즘을 이용하여 계산된 값과 비교하였다.

그림 7은 실제 현미경을 이용하여 촬영하여 측정한 길이와 본 논문에서 제시된 식(1),(2),(3)을 이용하여 촬영된 머리카락의 길이를 계산하는방법에 대한 예를 나타내고 있다.



(그림 7) 머리카락 두께 검출 예시

현미경으로 측정된 값과, 영상처리를 통해 계산된 값에 대한 비교 결과는 그림 8과 같다.



(그림 8) 실험 결과

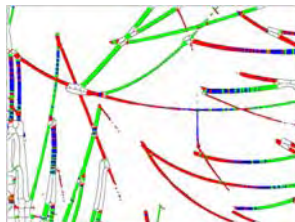
그림 8 (a)는 각 피험자들의 평균 모발 두께의 실제값과 측정값을 보여주고 있으며, (b)는 전체 정확도를 보여준다. 전체 정확도를 1이라 하였을 때, 붉은색 부분이 오차를 나타내고 있다. 전체 평균 결과는 표 1과 같다.

	현미경	실험	오차	정확도
전체 평균	85.65 μm	81.60 μm	4.72%	95.28%

(표 1) 실제측정과 제시된 방법 비교

한국인 모발의 평균 두께는 84.9 μm 로, 실험을 통해 측정된 평균 모발 두께 값 81.60 μm 가 타당하다는 점을 확인할 수 있다.[9]

그림 9는 촬영한 두피영상에 본 논문에서 제시된 방법을 적용하여 전체 두께를 측정된 그림이다. 머리카락이 겹쳐지는 부분, 전처리가 잘못된 부분 등 이상 값이 발생하는 부분은 정확도를 떨어뜨리므로, 이러한 부분을 제외하고 정확하게 머리카락으로 판단되는 부분에 대한 두께를 측정하였다.



(그림 9) 두피 영상에서 모발 두께 검출 예시

7. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 영상처리를 이용하여 두피영상에서 머리카락의 길이를 검출하는 방법을 제안 하였다. 지금까지 모발의 두께를 측정하기 위해 고가의 장비를 사용해 왔었

고, 영상처리를 이용한 모발 두께를 측정하는 부분에 대한 연구는 많지 않았다는 점을 고려하였을 때, 본 연구를 통해 새로운 방향을 제시 할 수 있을 것으로 판단된다.

두께 측정 시, 머리카락의 윤곽과 skeleton이 얼마나 정확하게 검출되었는지 여부가 정확도에 큰 영향을 미친다. 이러한 부분은 모발과 두피가 얼마나 정확하게 구분되느냐에 따라 성능에 차이를 보이게 된다.

또한 하나의 머리카락에 집중할 경우 머리카락 두께의 변화량을 측정할 수 있어 탈모증상 혹은 모발의 건강상태를 점검하는데 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

향후 연구에서 전처리과정의 개선을 통해 두피와 모발을 더욱 명확하게 구분하여 정확도를 더욱 올릴 수 있을 것으로 기대 된다.

8. Acknowledgement

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력 기술개발사업(C0277778)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Shih, Huang-Chia, "An Unsupervised Hair Segmentation and Counting System in Microscopy Images," 2015
- [2] Kardorff, Bernd, "Computergestützte Haaranalyse, Computer-Trichogramm," Selbstzählerleistungen in der Dermatologie und der ästhetischen Medizin, Springer Berlin Heidelberg, pp. 97-104, 2015
- [3] Xie, Feng-Ying, et al., "PDE-based unsupervised repair of hair-occluded information in dermoscopy images of melanoma," Computerized Medical Imaging and Graphics, pp. 33.4, 2009
- [4] Otsu, Nobuyuki, "A threshold selection method from gray-level histograms," Automatica pp. 23-27, 1975
- [5] Canny, John, "A computational approach to edge detection," Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on 6 pp. 679-698, 1986
- [6] Lam, L., Seong-Whan Lee, and Ching Y. Suen, "Thinning Methodologies-A Comprehensive Survey," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 14, Issue 9, pp. 879, 1992
- [7] Wold, Svante, Kim Esbensen, and Paul Geladi. "Principal component analysis," Chemometrics and intelligent laboratory systems 2.1, pp. 37-52, 1987
- [8] Lee, Yun-Seok, Han-Suh Koo, and Chang-Sung Jeong, "A straight line detection using principal component analysis," Pattern Recognition Letters 27.14, pp. 1744-1754, 2006
- [9] Choi, Gwang Seong, "한국인의 두피모발 특성과 남성형탈모증," J Korean Med Assoc 56.1 pp. 45-54, 2013