

증강현실 기법을 이용한 초음파 미용기의 조사 위치 표시

강문호
선문대학교 정보통신학과

Display of Irradiation Location of Ultrasonic Beauty Device Using AR Scheme

Moon-Ho Kang

Department of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

요약 본 연구에서는 휴대용 초음파 피부 미용기 사용시 집중 초음파의 조사 위치를 증강현실 (Augmented Reality : AR) 기법을 통해 사용자에게 보여주어 안전하게 셀프시술을 하도록 하는 안드로이드 앱을 개발하고 시험을 통해 유용성을 보인다. 사용자가 초음파 미용기로 얼굴 부위를 시술하는 동안에 스마트폰 카메라를 통해 사용자의 얼굴과 얼굴위의 초음파 조사 위치를 실시간 검지한 후, 얼굴 영상위에 조사 위치를 표시하여 사용자에게 보여줌으로서, 초음파가 동일한 부위에 과도하게 중복되어 조사되지 않도록 한다. 이를 위해 ML-Kit를 이용하여 사용자 얼굴의 랜드마크 (landmark)들을 실시간 검지하고 얼굴형상 기준 모델과 비교하여 얼굴의 회전과 이동 등의 자세를 추정한다. 미용기의 초음파 조사부위에 LED를 장착하고 조사 중에 작동시킨 후, LED의 불빛의 위치를 탐색하여 스마트폰 화면상의 초음파 조사 위치를 알아내고, 추정된 자세정보를 토대로 얼굴 영상위에 조사 위치를 정합시켜 표시한다. 앱에서 수행되는 각 작업들을 스레드와 타이머를 통해 구현하여 전체 작업이 75ms 이내에서 실행된다. 시험 결과, 120개의 초음파 조사 위치를 정합하고 표시하는 데 걸린 시간은 25ms 이하이고, 얼굴이 크게 회전하지 않는 경우 표시 정확도는 20mm 이내임을 알 수 있다.

Abstract In this study, for the safe use of a portable ultrasonic skin-beauty device, an android app was developed to show the irradiation locations of focused ultrasound to a user through augmented reality (AR) and enable stable self-surgery. The utility of the app was assessed through testing. While the user is making a facial treatment with the beauty device, the user's face and the ultrasonic irradiation location on the face are detected in real-time with a smart-phone camera. The irradiation location is then indicated on the face image and shown to the user so that excessive ultrasound is not irradiated to the same area during treatment. To this end, ML-Kit is used to detect the user's face landmarks in real-time, and they are compared with a reference face model to estimate the pose of the face, such as rotation and movement. After mounting a LED on the ultrasonic irradiation part of the device and operating the LED during irradiation, the LED light was searched to find the position of the ultrasonic irradiation on the smart-phone screen, and the irradiation position was registered and displayed on the face image based on the estimated face pose. Each task performed in the app was implemented through the thread and the timer, and all tasks were executed within 75 ms. The test results showed that the time taken to register and display 120 ultrasound irradiation positions was less than 25ms, and the display accuracy was within 20mm when the face did not rotate significantly.

Keywords : Ultrasound skin-beauty device, Android app, Augmented reality, Face landmark detection, Face pose estimation

본 논문은 2019년도 중소벤처기업부의 창업성장-기술개발사업 지원에 의한 연구임 (S2710370, 고강도 집중 초음파 기반의 증강현실(AR) 영상 매칭형 홈 뷰티기기 개발)

*Corresponding Author : Moon-Ho Kang(Sunmoon Univ./Automation & Energy Tech. Inst.)
email: mhkang@sunmoon.ac.kr

Received May 27, 2020

Revised June 15, 2020

Accepted September 4, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

피부에 외상을 남기지 않으면서 피부의 주름 개선과 피부 리프팅 등 노화개선 효과를 이루기 위해 고강도 집속 초음파 (High Intensity Focused Ultrasound : HIFU) [1]를 적용한 장비가 의료나 뷰티기기 분야에서 사용되고 있다. 최근에는 피부미용의 관심증대로 의료나 미용기관에서만 피부시술을 받는 개념이 가정에서의 셀프 시술에 의한 피부 관리 방식으로 전환되고 있어, 휴대식 셸프 HIFU 미용기가 소개되고 있다. 하지만, HIFU 미용기는 초음파를 한 점에 집중시켜 고강도의 에너지를 발생시키는 강력 집속 초음파를 사용하기 때문에 시술 시에 주의가 요구되고 안정성 확보가 필요하다.

본 연구에서는 휴대용 초음파 피부 미용기 사용시, 육안으로 보이지 않는 집속 초음파의 조사 위치를 증강현실 (Augmented Reality : AR) [2,3] 기법을 통해 사용자에게 보여주어 안전하게 셸프 시술을 하도록 하는 안드로이드 앱을 개발하고 시험을 통해 유용성을 보인다. 사용자가 초음파 미용기를 사용하는 동안, 스마트폰과 태블릿PC 등 모바일 장치의 카메라를 통해 사용자의 얼굴과 얼굴위의 초음파 조사 위치를 실시간 식별하여 사용자에게 보여주어, 셸프 시술 시 초음파의 과도한 중복 조사로 인한 통증 유발이나 시술이 고르게 이루어지지 않는 문제점들을 해결한다. 이를 위해 ML-Kit [4]를 이용하여 사용자 얼굴과 얼굴의 특징점 (landmark) 들을 실시간 검지하고, 기준 얼굴 모델과 비교하여 얼굴의 회전과 이동 등의 자세를 추정한다 [5-7]. 미용기의 초음파가 조사되는 부위에 LED를 장착하고 조사 중에 작동시킨 후, LED의 불빛의 위치를 탐색하여 스마트폰 화면상의 초음파 조사 위치를 알아내고, 추정된 자세정보를 토대로 얼굴 영상위에 조사 위치를 정합시켜 원 또는 기타 이미지로 표시한다. 얼굴 영상 위의 동일한 부위에서 LED 불빛이 재차 검지되면 이미지의 색을 점점 진하게 하여 중복 조사되는 랑을 표시한다. 앱 프로그램은 안드로이드 장치를 대상으로 하여 앱의 작업 모듈들을 스레드 (thread)로 구현하고 수행 속도를 높이기 위해 일부 루틴들은 c++ ndk를 활용하여 프로그래밍 하였다. 다양한 시험을 통해 앱의 성능과 유용성을 보였고, 전체 작업이 75ms 이내에서 실행되는 것을 확인했다.

2장에서는 사용자 얼굴 윤곽을 검지하기 위한 기반 알고리즘을 선정하고 얼굴 윤곽을 확장하는 방법에 대해 기술하고, 3장에서는 스마트폰 화면위의 초음파 조사 위치를 알아내는 방법을 기술한다. 4장에서는 사용자의 얼

굴 자세를 추정하고, 초음파 조사 위치를 얼굴 영상위에 정합시켜 표시하는 과정을 기술한다. 5장에서는 시험결과를 기술하고 마지막 6장에서는 결론과 향후 연구계획에 대해서 기술한다.

2. 모바일 얼굴 윤곽 검지 및 확장

2.1 기준 검지 알고리즘 선정

본 연구에서는 모바일 장치를 이용하여 실시간으로 얼굴의 랜드마크들을 검지하고 얼굴의 자세를 추정하여 얼굴 영상위에 증강 이미지를 표시해야 한다. 또한, 장애물 (초음파 미용기)에 의해 얼굴의 일부가 항상 가려지는 상태이므로 검지 알고리즘이 장애물에 대해 견실한 성능을 지녀야 한다. 얼굴 검지 알고리즘으로는 비올라-존스의 Harr cascade 분류기(classifier) [8]로부터 최근의 딥러닝(deep learning) [9]에 이르기까지 매우 다양한데, 본 연구에서는 상기한 요구 사항들을 고려하여 일차적으로 Dlib [10]와 ML-Kit를 이용한 얼굴검지 알고리즘을 선택하고 특성을 비교하였다. Dlib는 c++로 작성된 라이브러리로 다양한 분야에서 사용가능한 모바일 머신러닝 모듈들을 포함한다. 이들 중에서 HOG (Histogram of Oriented Gradients)를 기반으로 한 얼굴검지 모듈은 얼굴 내부의 68개 랜드마크들을 검지할 수 있어서 이를 통해 얼굴의 윤곽 (contour)을 알아낼 수 있다. ML-Kit는 구글의 머신러닝 알고리즘 (자세한 구현 방식은 밝혀져 있지 않음)을 적용한 모바일 SDK로, 얼굴 윤곽과 133개의 랜드마크들을 검지할 수 있다.

그림1은 Dlib와 ML-Kit를 이용하여 스마트폰 카메라로 얼굴과 얼굴 내의 랜드마크들을 검지한 결과를 보인다. 두 경우 모두 얼굴을 잘 검지하지만, Dlib의 얼굴 경계 사각형 (bounding box)에는 얼굴의 상하 일부가 제외되고 ML-Kit는 사각형이 얼굴의 전체 영역을 포함하는 것을 알 수 있다. 랜드마크들도 잘 검지되는데, Dlib의 경우에는 눈썹부터의 랜드마크들이 검지되고, ML-Kit는 이마의 상단부터 랜드마크들이 검지되는 것을 확인할 수 있다.

그림2는 얼굴의 일부가 초음파 미용기에 의해 가려지는 경우로, 얼굴 경계 사각형 위치에는 변화가 없지만, Dlib의 경우 랜드마크들의 위치가 얼굴의 해당 위치에서 ML-Kit 경우에 비해 상당히 많이 벗어나 Dlib가 ML-Kit에 비해 장애물 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

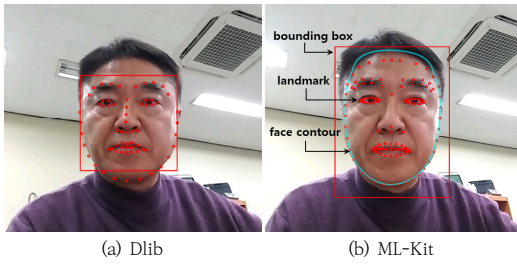


Fig. 1. Face and face landmark detection

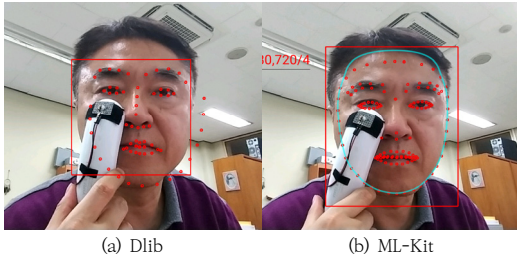


Fig. 2. Face and face landmark detection (while the ultrasonic beauty device is used)

그림 1, 2의 시험결과로 기본적인 검지 성능은 두 방식이 비슷하지만 장애물이 있는 경우 Dlib의 성능이 크게 저하되는 것으로 판단되어 ML-Kit를 이용한 방식을 기준 얼굴 검지 방식으로 채택한다.

2.2 얼굴 윤곽 확장

ML-Kit로 검지한 얼굴 랜드마크들을 연결하면 대체적인 얼굴의 윤곽을 쉽게 구할 수 있지만, 앞 절의 시험 결과에서 보이듯이 이마의 최상단 일부 영역이 윤곽에서 제외된다. 하지만 초음파 미용기로부터 얼굴 전체 영역에 걸쳐서 초음파가 조사되므로, 본 연구에서는 얼굴 전체 영역에 대한 윤곽을 알아야 한다. 이를 위해 이마의 상단부 랜드마크들의 위치를 조절하여 얼굴 윤곽을 확장할 수 있도록 한다. 그림3은 얼굴 상단의 랜드마크들 중에서 한 개의 위치를 이동시키는 과정을 보인다. 얼굴선 (face line)과 같은 방향으로 필요한 얼굴윤곽 확장 길이 (Δfh)가 주어지면, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈의 바깥쪽 두 개의 랜드마크 좌표인 (xle, yle) 과 (xre, yre) 을 이용하여 얼굴의 수평 기울기(eye slope) a_e 를 계산하고, Δfh 와 a_e 를 이용하여 임의의 랜드마크 포인트 (x, y) 로부터 새로운 포인트 (x', y') 까지의 좌표 이동치 ($\Delta x, \Delta y$)을 계산한다. 이후, 얼굴 상단의 이마 부위 모든 랜드마크들을 ($\Delta x, \Delta y$)만큼 이동하여 Δfh 만큼 확장된 얼굴 윤곽을

구한다. 최종적으로 얼굴 윤곽을 매끄럽게 처리하여 (corner-path rounding) 표시한다. 그림 4는 얼굴 윤곽을 확장한 결과를 보인 것으로, 스마트폰 화면에 시크바 (seekbar)를 설치하여 확장 길이를 사용자가 조절할 수 있도록 했다.

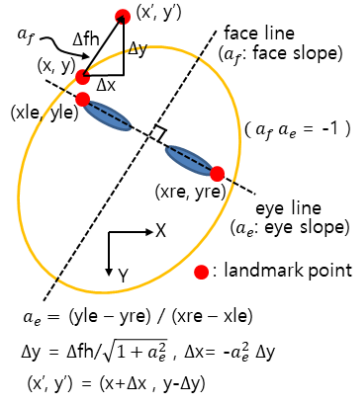


Fig. 3. Face-landmark movement

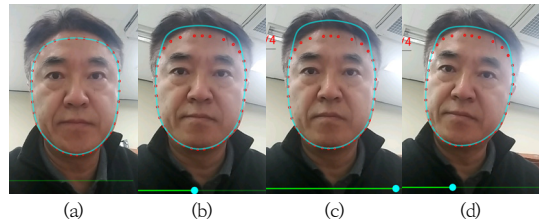


Fig. 4. Facial contour expansion (a)without expansion (b)~(d)with expansion (scaling with seek-bar)

3. LED를 이용한 초음파 조사 위치 검지

초음파 미용기를 사용하는 도중에 초음파의 조사 위치를 확인할 수 있도록, 미용기의 초음파 조사 부위에 하얀색 글래스의 청색 LED를 설치한다. (그림 5(d)) 사용자가 미용기를 사용할 시점에 미용기에 부착된 스위치를 누르면 초음파가 조사되고 동시에 LED가 켜진다. 앱은 백그라운드로 스마트폰 화면 영상에서 얼굴 윤곽을 검지한 후 타이머를 통해 주기적으로 얼굴 윤곽 내에서 청색 불빛을 탐지한다. LED가 켜지는 순간 앱은 청색을 탐지하여 초음파가 조사되는 위치를 간접적으로 알아내고 스마트폰 화면의 얼굴 영상 위에 표시한다. 그림 5는 이와 같이 초음파의 조사 위치를 검지하고 스마트폰 화면에 표시한 모습과 시험에 사용된 초음파 미용기의 시작품을 보인다.

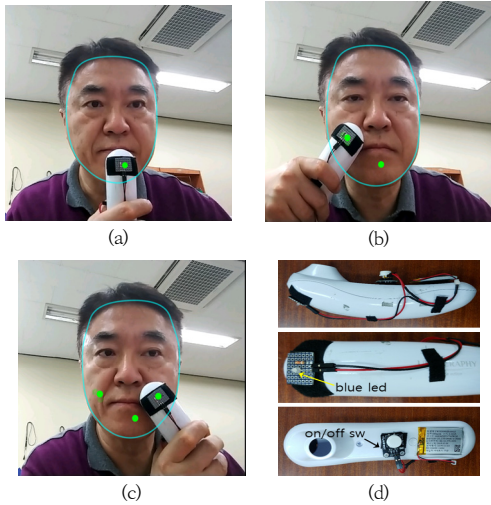


Fig. 5. Detection of ultrasonic irradiation position (a ~c) ((d) prototype of ultrasonic beauty device)

4. AR 기반 초음파 조사 위치 표시

4.1 얼굴 자세 추정

미용기를 사용하는 도중 사용자의 얼굴 영상에 초음파의 조사 위치가 표시되기 위해서는 사용자 얼굴의 자세를 실시간 알아야 한다. 이를 위해, 3D 월드 좌표계에 기준 얼굴 모델을 설정하여 랜드마크 (3D face model landmark)들을 추출하고, ML-kit를 통해 검지한 얼굴 랜드마크 (2D detected face landmark)들 사이의 투영관계를 통해 얼굴의 회전과 이동 등의 자세를 구한다. 식(1)은 동차 좌표계 (homogeneous coordinates)를 이용하여 임의의 모델 랜드마크 포인트 (x', y', z')와 검지된 얼굴 랜드마크 포인트 (u', v') 사이의 원근 투영 (perspective projection) 관계식으로 [11], 모델과 얼굴의 랜드마크들과 카메라 고유 행렬 (K)이 주어지면 회전행렬과 이동벡터 (R, t)를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 opencv의 solvePnP 메서드를 사용하여 얼굴 자세를 구한다. 카메라 행렬에서, skew factor는 무시하고 이미지 평면의 중심은 카메라 영상 이미지의 중심과 같도록 설정하였고, 카메라 초점거리는 안드로이드 카메라 클래스에서 제공하는 메서드를 이용하여 구했다.

$$s \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix}, M = K[R|t] \quad (1)$$

u', v' : 2D detected face landmark point in image plane (u, v), x', y', z' : 3D model landmark point in world coordinates (X, Y, Z), M : 3×4 projection matrix K : 3×3 camera intrinsic matrix, R : 3×3 rotation matrix of world coordinates with reference to camera coordinates (U, V, W), t : 3×1 translation vector of world coordinates with reference to camera coordinates (U, V, W), s : scale factor (scalar)

4.2 역-원근투영

시술도중 표시해야 할 초음파 조사 위치의 개수는 시술이 진행됨에 따라 점점 증가한다. 본 연구에서는 초음파 조사가 탐지될 때마다 조사 지점의 스마트폰 화면 (2D 이미지 평면) 좌표에 대한 3D 월드 좌표를 구하여 버퍼 어레이에 순차적으로 저장해 둔다. 이때, 계산된 3D 좌표 값을 어레이에 저장되어 있는 이전 좌표 값들과 비교하여 좌표 값 차이가 특정 범위 이내에 있는 경우에는 새로운 좌표 값을 저장하지 않고 이전 좌표에 대한 중복 횟수만 증가시켜 저장해 둔다. 3D 월드 좌표는 식(2)의 원근 투영식으로부터 식(3)의 역-원근투영 (reverse perspective projection) 식을 구하여 계산한다. 이때, K, R, t 값 들은 앞 절의 얼굴 자세 추정에서 구한 값들을 사용한다. s 는 식(2)에서 3D 모델 좌표, x_p, y_p, z_p 를 모두 0으로 하면 2D 이미지 평면 좌표, u_p, v_p 와 무관하게 t_W 로 계산되어 이동벡터 t 의 W-방향 성분과 같다.

$$s \begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} = K \left(R \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + t \right) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = R^{-1} \left(s K^{-1} \begin{bmatrix} u_p \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} - t \right) \quad (3)$$

$$s = t_W (= M_{34}) \quad (4)$$

u_p, v_p : 2D point in camera image plane, x_p, y_p, z_p : 3D point in world coordinates, t_W : W-axis component of the translation vector t

4.3 조사위치 표시

4.2 절에서 기술한 버퍼 어레이로부터 모든 3D 월드 좌표를 하나씩 꺼낸 후, 식(1)을 적용하여 스마트폰 화면상의 2D 좌표들을 구하고 원이나 마크를 그려 표시하면 시술도중에 초음파가 조사된 모든 위치들을 확인할 수

있다. 이때, 3D 좌표와 함께 저장된 중복 횟수를 체크하고, 중복 횟수가 클수록 원의 색을 진하게 하여 조사 부위에 초음파가 중복 된 량을 나타낸다.

그림 6은 초음파 조사 위치를 추정하고 표시하는 전체 절차를 보인다. 얼굴 자세 추정, 역-원근투영, 원근투영 및 조사 위치 표시 등이 각각 별도의 타이머와 쓰레드를 통해 수행된다.

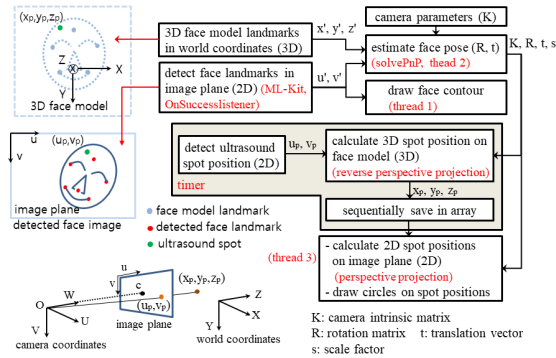


Fig. 6. Procedure of estimation and display of ultrasonic-irradiation location

5. 시험 결과

표 1은 시험에 사용된 스마트폰의 사양과 카메라 영상의 크기를 보인다. 전체적인 앱의 수행 속도를 높이기 위해, 스마트폰 카메라 영상 (해상도 1280, 720)을 그레이 이미지로 변환하고 다운스케일 하여 기본 영상처리 이미지 (해상도 400, 225)로 사용하였다. ML-Kit는 비트맵이나 NV21 형식의 이미지로부터 얼굴 검지에 사용될 이미지(firebase vision image)를 생성하는데, NV21 이미지를 사용하는 경우 검지 속도를 향상시킬 수 있다고 알려져, 다운-스케일 그레이 이미지로부터 yuv-nv21 이미지 어레이를 생성하고 firebase vision image로 변환하여 얼굴 검지에 사용하였다.

Table 1. Smart-phone specifications and camera-frame size

HW	cpu	2.45/1.9 GHz(quad-cores)
	gpu	670 MHz
SW	android ver.	9 (Pie)
Display	display(w,h)	2034,1080
Camera frame	preview(w,h)	1280,720 (for previewing)
	down-scaled preview(w,h)	400,225 (for face detecting)

얼굴 자세 정보 (R, t)는 4.1 절에서 기술한 대로 opencv의 solvePnP 메서드를 이용해 구한다. 이때 필요한 3D 월드 좌표계의 기준 얼굴 모델은 표 2와 같이 설정되어, 코끝, 두 눈의 바깥쪽 끝, 입의 양쪽 끝, 턱과 이마의 끝 등, 7개의 랜드마크들을 갖고, 코끝을 원점 (0,0,0)으로 한다.

Table 2. landmarks of the 3D face model

n	landmark position (x,y,z)	remark
1	(0, 0, 0)	tip of the nose (origin)
2	(0, 350, -50)	tip of the forehead
3	(-225, 170, -150)	left corner of the left eye
4	(225, 170, -150)	right corner of the right eye
5	(-150, -150, -150)	left corner of the mouth
6	(150, -150, -150)	right corner of the mouth
7	(0, -330, -50)	tip of the chin

5.1 초음파 조사 표시 정확도

그림 7은 얼굴의 5개 위치에 직경 19mm의 노란색 패드를 붙이고, 패드 위에 초음파 조사 위치를 표시한 후에 (녹색 원), 얼굴의 자세를 바꾸어가면서 표시 위치가 패드로부터 얼마나 벗어나는 지를 보인다. 정면의 경우를 기준으로, 얼굴의 원근 거리변화나 이동에 따라서는 표시 위치가 패드를 거의 벗어나지 않는 모습을 보인다. 얼굴의 자세가 상하로 회전할 때에도 유사한 결과를 보이지만, 얼굴이 좌우로 회전하는 경우에는 표시 위치가 상대적으로 크게 변하여 양쪽 볼의 표시 지점에서는 패드를 벗어나는 모습을 보이고, 얼굴의 회전이 클수록 벗어나는 정도도 커진다. 이는 3D face model이 얼굴 정면에 대한 근사적인 모델이기 때문으로, 얼굴 회전 시에 더욱 정확한 결과를 얻기 위해서는 추가적으로 얼굴 측면에 대한 얼굴 모델을 사용하거나, 사용자 얼굴에 맞추어 더욱 세밀한 3D 얼굴 모델을 사용할 필요가 있다. 하지만 하나의 카메라를 사용하는 경우 실현이 어려워 향후의 해결 과제로 고려하고, 얼굴이 크게 회전하지 않는다는 제약 조건을 가정하면 양호한 결과를 보인다고 판단된다.





Fig. 7. Display of ultrasonic-irradiation locations according to face poses (ultrasonic irradiation on a 19mm pad)

5.2 다중 초음파 조사 표시

그림 8은 얼굴 자세를 바꾸면서 120개의 초음파 조사 위치를 녹색 원으로 표시한 모습이다. 원의 투명도를 조절하여, 조사 위치가 중복될수록 원의 색을 진하게 표시했다. 120개의 초음파 조사 위치를 표시하는 데 걸린 시간은 25ms 이하였다. 하지만, 얼굴을 검지하는 데 최대 75ms로 가장 긴 시간이 소요되어 앱의 수행 주기는 최대 75ms 라고 할 수 있다. 참고로, 표 3에 앱에서 수행하는 작업 스텝별로 실행시간을 표시했다. 실행시간은 System.currentTimeMillis()를 사용하여 측정했다. 카메라 영상의 프레임 레이트는 평균 14 fps로 openCV의 enableFpsMeter()를 이용하여 구했다.



Fig. 8. Display of 120 ultrasonic-irradiation locations according to face poses

Table 3. Execution time of each task of the app

drawing face contour	lower than 20 [ms]	thread1
face-pose estimation	lower than 2 [ms]	thread2
displaying 120 spots	lower than 25 [ms]	thread3
detecting 3D spots	5 [ms]	timer
ML-kit face detection	lower than 75 [ms]	OnSuccessListener
previewing frame rate : average 14 [fps] (using openCV enableFpsMeter())		

6. 결론

본 연구에서는 육안으로 보이지 않는 집속 초음파의 조사 위치를 증강현실을 통해 사용자에게 보여주어 안정한 셸프 기술이 가능하도록 하는 안드로이드 앱을 개발하고 시험을 통해 유용성을 보였다. 본 연구의 수행 내용과 결과는 다음과 같다.

- (1) Dlib와 ML-Kit를 이용하여 얼굴 윤곽을 검지하고 특성을 비교하여, 장애물에 대해 상대적으로 우수한 성능을 보인 ML-Kit를 기준 검지 방식으로 채택했다.
- (2) 얼굴의 기울기를 바탕으로 얼굴의 상단부 랜드마크들의 위치를 조절하여, 전체 얼굴 영역에 대한 윤곽을 알아냈다.
- (3) 증강현실 기법을 활용하여 얼굴 영상위에 초음파 조사 위치와 중복 조사되는 정도를 실시간 표시하여 사용자가 시술도중 확인할 수 있도록 하였다. 시험결과, 120개의 초음파 조사 위치를 표시하는 데 걸린 시간은 25ms 이하로 확인되었다.
- (4) 앱에서 수행되는 각 작업들은 스레드와 타이머를 이용하여 실행되었고, 얼굴 검지에 가장 긴 시간이 소요되어 앱의 수행 주기는 최대 75ms로 확인되었다.

시험을 통해 얼굴 자세에 따른 초음파 조사 표시 정확도를 확인한 결과, 대체적으로 양호한 결과를 보였지만 얼굴이 좌우로 회전하는 경우에는 표시 위치가 기준 위치에서 20mm 이상 벗어나는 모습을 보였다. 이는 본 연구에서 사용한 3D 얼굴 모델이 얼굴 정면에 대한 모델이기 때문으로, 얼굴 회전 시에도 정확한 결과를 얻기 위해서는 추가적으로 얼굴 측면 모델이나 또는 더욱 세밀한

3D 얼굴 모델을 사용할 필요가 있어, 앞으로 이에 대한 연구를 수행할 것이다.

References

- [1] G. T. Haar and C. Coussios, "High intensity focused ultrasound: Physical principles and devices", *International Journal of Hyper-thermia*, vol. 23, no. 2, pp. 89-104, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IJSP.2014.2338911>
- [2] D. Schmalstieg and T. Hollerer, *Augmented Reality, Principles and Practice*, Addison-Wesley, pp. 78-84, 2016.
- [3] S. Aukstakalnis, *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR*, Addison-Wesley, pp. 227-329, 2016.
- [4] Karthkeyan NG, *Machine Learning Projects for Mobile Applications*, pp. 85-108, Packt, 2018.
- [5] A. Kumar et al., "Face detection techniques: a review", *Artificial Intelligence Review*, 52, pp. 927-948, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9650-2>
- [6] J. Shin and D. Kim, "Hybrid Approach for Facial Feature Detection and Tracking under Occlusion", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 1486-1490, Dec. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IJSP.2014.2338911>
- [7] D. Han et al., "Design and Implementation of Real-time High Performance Face Detection Engine", *The Institute of Electronics Engineers of Korea-SP*, vol. 47, no. 2, pp. 33-44, 2010.
- [8] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511-518, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IJSP.2014.2338911>
- [9] D. Garg et al., "A Deep Learning Approach for Face Detection using YOLO", *IEEE Punecon*, pp. 1-4, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/IJSP.2014.2338911>
- [10] A. Rosebrock, Facial landmarks with dlib, OpenCV, and Python, <https://www.pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-python/> 2017.
- [11] R. Laganière, *OpenCV Computer Vision Application Programming Cookbook*, 2nd Edition, Packt, pp. 281-313, 2014.

강 문 호(Moon-Ho Kang)

[정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1995년 8월 : 고려대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1995년 9월 ~ 1997년 8월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 1997년 9월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

모바일 및 임베디드 시스템