

얼굴 분석과 이미지 합성을 통한 맞춤형 헤어스타일 추천 시뮬레이션 시스템

권민성*

A Simulation-System for Personalized Hairstyle Recommendation through Facial
Analysis and Image Synthesis

Kwon-MinSeong*

요약

최근 인공지능(AI)과 증강현실(AR) 기술의 발전은 미용 패션 산업에도 빠르게 확산되고 있다. 특히 기존 거울의 기능에 디지털 디스플레이와 센서를 결합한 ‘스마트미러(Smart Mirror)’는 다양한 정보 제공과 맞춤형 서비스를 구현할 수 있는 차세대 인터페이스로 주목받고 있으며, 거울을 통해 미리 헤어스타일을 확인할 수 있다는 점에서 많은 관심을 받고 있다. 그러나 현재 상용화된 기술들은 얼굴형에 맞는 일부 스타일을 미리 정해놓고, 그 형태에 사용자의 얼굴을 맞추는 방식이어서 부자연스럽고 사용자가 원하는 스타일을 자유롭게 선택하기 어렵다는 한계가 있다. 본 연구에서는 HairFastGAN: 을 활용하여 실시간으로 자연스러운 헤어스타일을 합성할 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.

ABSTRACT

Recent advancements in Artificial Intelligence (AI) and Augmented Reality(AR) technologies have been rapidly expanding into the beauty and fashion industries. In particular, the “Smart Mirror”, which combines the functionality of a traditional mirror with digital displays and sensors, has attracted significant attention as a next-generation interface capable of providing various types of information and personalized services. One of its notable features is the ability to preview hairstyles through the mirror. However, currently commercialized technologies often rely on a predefined set of styles tailored to specific face shapes, requiring the user to adjust their face to match the given style. This results in an unnatural appearance and limits the users’ ability to freely choose their preferred hairstyle. This study aims to develop a system utilizing HairFastGAN: to generate and display realistic hairstyles in real time.

키워드

Smart Mirror, Hairstyle Simulation, Generative Adversarial Network(GAN), HairFastGAN, Real-time Image
Synthesis, Personalized Beauty Technology
스마트거울, 헤어스타일 시뮬레이션, 생성적 적대 신경망, 실시간 이미지합성, 개인맞춤 스타일링 기술

* 한국□□□□ 연구원(Email)

** 교신저자 : □□대학교 □□□□학과

• 접수일 : 0000. 00. 00

• 수정완료일 : 0000. 00. 00

• 게재확정일 : 0000. 00. 00

• Received : May 00, 0000, Revised : July 00, 0000, Accepted : July 00, 0000

• Corresponding Author : Dong-Sun Hong

Dept. □□□□□□□□, □□ University,

Email : □□□□@□□□□.ac.kr

(중고독 8포인트, 장평 90%, 자간 -5, 들여쓰기 0, 줄간격 130%)

I. 서 론

최근 사물인터넷(IOT)의 급속한 발전과 인공지능(AI) 기술의 고도화는 일상생활 속 다양한 디지털 융합기기를 탄생시키고 있다. 특히, 센서, 디스플레이, 네트워크 기술이 결합된 스마트IOT디바이스는 가정 헬스케어 패션 등 폭넓은 분야에서 활용도가 높아지고 있으며, 그중에서도 스마트미러(Smart Mirror)는 상업적 산업적 관심이 급격히 대두되는 대표적인 응용 제품이다. 스마트미러는 디지털디스플레이위에 반투명필름(혹은 아크릴)을 붙여 거울의 기본기능을 수행하는 동시에, 날씨 뉴스 일정과 같은 생활정보제공과 헬스 모니터링, 패션피팅 등 맞춤형 서비스를 구현할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 기존의 스마트미러 기반 헤어스타일 시뮬레이션은 대부분 사전에 준비된 고정이미지(또는 3D모델)를 사용자가 선택하면, 해당 이미지를 거울 화면에 단순 보여주는 방식에 의존해왔다. 이 경우 사용자는 제시된 스타일 중에서만 선택가능하며, 합성의 자연스러움이 떨어지고, 스타일 크기나 각도를 조절하기 위해 사용자가 얼굴위치와 각도를 맞춰야하는 번거로움이 발생한다. 이러한 제약은 사용자 맞춤형 경험을 제공하는데 한계를 야기한다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 생성형 적대신경망(GAN)기반의 실시간 헤어스타일 합성 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 사용자가 원하는 스타일 이미지를 입력하면, 사전 학습된 GAN모델을 활용하여 사용자의 얼굴과 자연스럽게 어우러지는 합성 결과를 생성한다. 이를 통해 기존 방식처럼 미리 준비된 헤어에 맞춰 얼굴을 조정할 필요가 없으며, 사용자 개개인의 얼굴 형태 비율에 맞춘 고품질 맞춤형 스타일 시뮬레이션이 가능하다. 본 연구는 이러한 접근이 스마트미러의 상업적 활용성을 높이고, 향후 맞춤형 패션 뷰티 산업에서의 응용 가능성을 크게 확장할 것으로 기대한다.

II. 연구 배경

2.1 MagicMirror

MagicMirror는 오픈소스기반 스마트미러 플랫폼으

로, Node.js환경에서 구동되며 HTML, CSS, JavaScript와 같은 웹 기술을 활용하여 화면에 다양한 정보를 시각적으로 제공한다. 또한 외부 API 연동 및 사용자 정의 모듈을 통해 손쉽게 기능 확장이 가능하다.

특히 라즈베리파이와 같은 저전력 소형컴퓨터에서 원활히 구동이 가능하며, 저비용 고효율의 맞춤형 스마트미러 제작이 가능하다는 점에서 높은 활용성을 보인다. 이러한 특성으로 인해 MagicMirror는 스마트 홈 환경에서의 정보 허브, 헬스케어 및 모니터링시스템, 광고홍보를 위한 상호작용형 디지털 사이니지 등 다양한 응용 분야에서 사용되고 있다.

본 연구에서는 이러한 플랫폼의 특성을 활용하여 자체 개발한 얼굴형 분석모델과 웹으로 구현할 GAN기반 실시간 헤어스타일 합성 시스템을 개발 통합함으로써 사용자 맞춤형 뷰티 서비스를 구현하는것을 목표로 한다.

2.2 HairFastGAN

HairFastGan은 SryleGan 아키텍처를 기반으로 경량화된 이미지 생성 모델로, 고해상도의 이미지를 빠른 속도로 합성하면서도 높은 이미지품질을 제공하는것을 목표로 한다. 기존 StyleGAN2/3 모델에 비해 파라미터 수와 연산량을 줄였으며, 다단계 업샘플링 구조와 스타일 매핑 네트워크를 개선하여 실시간 수준의 이미지 합성이 가능하다.

본 연구에서는 HairFastGAN을 웹 기반 환경에 구현하여, 사용자가 웹페이지에서 자신의 얼굴 이미지를 업로드하고 원하는 연예인 이미지를 선택하면 해당 헤어스타일을 자연스럽게 합성된 결과를 즉시 확인 할 수 있도록 하였으며, 생성된 결과 이미지는 자동으로 MagicMirror 디스플레이와 연동되어, 사용자가 거울 화면을 통해 합성 결과를 확인할 수 있게 설계하였다.

2.3 얼굴형분류모델

본 연구에서는 사용자의 얼굴형을 분석하여 맞춤형 헤어스타일을 추천하는 기능을 구현하기 위해 GoogleTeachableMachine을 활용했다. Teachable Machine은 웹 기반의 머신러닝 모델 제작 플랫폼으로, 이미지 기반으로 한 분류 모델을 빠르게 학습할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 다양한 얼굴 데이터셋을 수집 전처리하여, 얼굴형을 둥근형, 긴형, 각진형, 다이아몬드형, 계란형의 5가지 유형으로 분류

하는 모델을 학습했다.

학습된 얼굴형 분류 모델은 TensorFlow Lite형식으로 변환하여 라즈베리 파이에 이식하였으며, USB Camera를 통해 실시간으로 촬영된 얼굴 형상을 분석하여 사용자의 얼굴형을 자동으로 판별할 수 있다. 이렇게 추출된 얼굴형 정보는 대규모 언어모델(LLM, GPT)기반 추천 시스템에 전달되어, 해당 얼굴형에 가장 어울리는 헤어스타일을 빠르게 제안한다.

이 접근 방식은 단순한 이미지 합성을 넘어, 사용자 개별 특성에 기반한 스타일링 의사결정지원을 가능하게 한다는 점에서 기존 스마트미러 기술과 차별화된다. 특히 LLM을 활용함으로써, 단순한 스타일 이름 제안뿐만 아니라, 얼굴형의 특성, 어울리는 스타일 등 부가적인 설명을 포함한 고도화된 맞춤형 스타일 추천 서비스를 제공할 수 있다.

III. 시스템 구조

3.1 아키텍처 개요

본 시스템의 하드웨어는 스마트미러장치(라즈베리파이)와 추론서버(colab+ ngrok)의 이원화 구조로 설계되었다. 스마트미러장치는 UI를 표시하며, 추론서버는 HairFastGAN기반의 고비용 합성 연산을 처리한다. 두 구성은 무선네트워크로 연결되며, 실시간 합성 결과를 디스플레이로 반환한다.

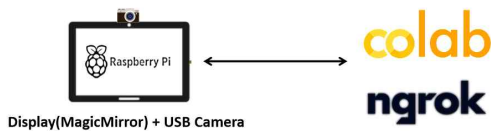


그림 1. 아키텍처구조
Fig. 1 Architecture Structure

3.2 하드웨어

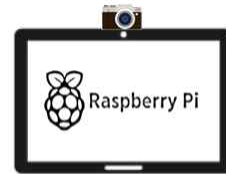
하드웨어 구성은 라즈베리파이 4, USB UVC규격 카메라, 모니터 이렇게 세 요소로 단순화하였다. 라즈베리파이4는 스마트미러 장치의 제어부로서 MagicMirror UI를 구동하고, 카메라로부터 입력되는 프레임을 수집하여 ‘얼굴형 분류 모델(TFLite)’을 실행한다. 또한 웹

(가발합성.kro.kr)의 통신을 통해 합성 요청을 전달받고, 원격서버에서 생성된 결과 이미지를 수신하여 화면에 렌더링한다.

USB카메라는 사용자 정면 영상을 제공하는 입력장치로 라즈베리파이에 직접 연결되며, 실내 환경에서 안정적인 해상도와 프레임을 제공한다.

모니터는 MagicMirror 화면과 합성 결과를 출력하는 표시 장치로, 라즈베리파이와 HDMI로 연결되어 사용자에게 최종 결과를 시각적으로 제시한다.

이러한 구성은 라즈베리파이를 중심으로 입력-출력-네트워크연결이 명확하여 설치가 용이하고, 로컬에서 얼굴형 분석 후 웹 기반 합성 결과를 즉시 표시하는 본 연구의 목표를 충실히 지원한다.



Display(MagicMirror) + USB Camera

그림 2. 하드웨어구조
Fig. 1 HardWare Structure

3.3 소프트웨어

본 시스템의 소프트웨어는 스마트미러장치(라즈베리파이)와 원격 추론 라즈베리파이 간의 통신을 지원한다.

라즈베리파이측에는 MagicMirror기반의 표시 모듈과 Node.js/Express로 구현된 게이트웨이 서버, 그리고 Teachable Machine을 변환한 TFLite 얼굴형 분류 모듈이 탑재되어 카메라로 입력된 영상을 실시간으로 처리한다. 해당 모듈은 얼굴을 5가지 유형(둥근형, 긴형, 각진형, 다이아몬드형, 계란형)으로 분류하며, 얼굴형 분류 결과는 대규모 언어모델(LLM, GPT-4)에 전달되어 텍스트 기반 스타일 추천에 활용된다.

원격 추론 서버(Colab)에서는 HairFastGAN기반 합성 연산을 수행한다. 웹에서 전달된 사용자 얼굴 이미지와 선택한 헤어스타일 이미지를 입력받아 합성 결과를 생성하며, ngrok을 통해 이를 라즈베리파이로 전송한

다.

였다.



그림 3. 소프트웨어구조
Fig. 3 SoftWare Structure

3.4 모델 변환 및 커스터마이징

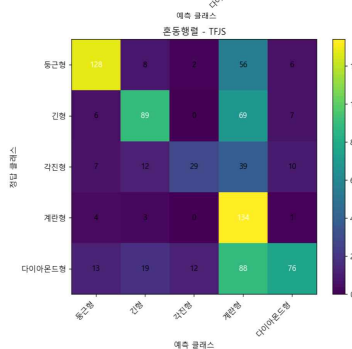
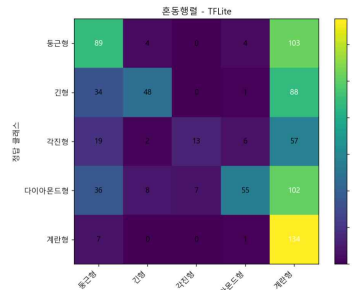
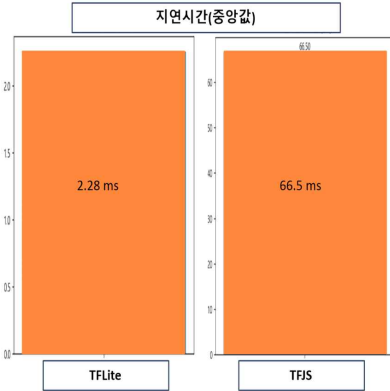
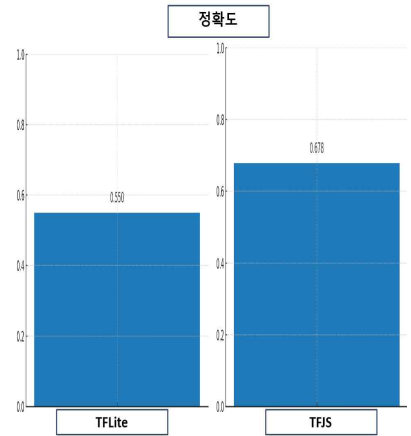
3.4.1 얼굴형 분류모델

얼굴형 분류 모델은 Google Teachable Machine을 활용하여 5가지 얼굴형(둥근형, 긴형, 각진형, 다이아몬드형, 계란형)을 분류하도록 학습했다.

배포 형태는 TFJS모델(WebGL/WebGPU가속활용)과 TFLite(FlatBugger 형식 및 NEON/XNNPACK경량 연산 활용)을 지원한다.

동일 테스트셋에서 성능을 비교한 결과, 지연시간 중앙값은 TFLite 2.28ms, TFJS 66.50ms로 측정되어 TFLite가 약 29배 빠름을 확인했다. 30FPS기준 프레임 예산(약 33ms)과 비교하면 TFLite는 수ms 수준으로 충분한 헤드룸을 제공해 본 제한된 환경에서 모델을 활용하기에 가장 적합하다.

반면 정확도와 클래스별 F1은 TFJS에 비해 낮은 수치를 보였다. 그럼에도 본 시스템은 실시간 상호작용과 전체 파이프라인 지연최소화가 핵심 요구이므로, 지연 대비 효율과 낮은CPU점유·전력효율·오프라인안정성을 종합적으로 고려해 TFLite를 기본런타임으로 채택하



클래스별 F1

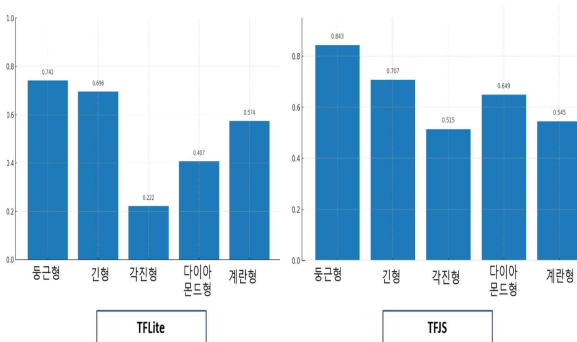


그림 6 TFILte vs TFJS
Fig. 6 TFILte vs TFJS

3.4.2 HairFastGAN

원활한 시스템실행을 위해 기존 오픈소스 모델을 단순히 적용하는 데 그치지 않고, 제한된 하드웨어 환경과 사용자 응용 요구사항에 맞추어 모델을 변환 및 최적화하였다. 헤어스타일 합성 시스템은 FastGAN구조를 기반으로 한 HairFastGAN을 응용 목적에 맞게 수정하였다. 기존 모델은 단일 latent벡터를 입력으로 사용하도록 설계되었으나, 본 연구에서는 사용자 본인 이미지, 목표하는 헤어스타일 이미지, 색상 참조 이미지의 3채널 입력을 동시에 처리할 수 있도록 인터페이스를 변경하였다. 또한 Colab GPU 환경에서 원격 추론이 가능하도록 구성하였으며, ngrok을 활용하여 라즈베리파이와 Colab간의 안정적인 통신을 보장하였다. 아울러, 서로 다른 해상도의 입력 이미지들을 일관성 있게 처리하기 위해 1024X1024 크기로 자동 리사이즈하는 전처리 코드를 추가하여, 합성 결과의 품질 저하를 방지하고 학습된 모델의 입력 조건과 실제 응용 환경 간의 차이를 최소화하였다.



그림 7. 커스터마이징 전
Fig. 7 Before Customizing



그림 8. 커스터마이징 후
Fig. 8 After Customizing

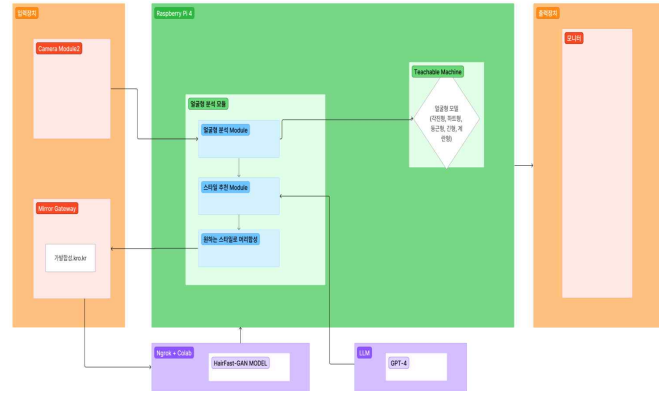


그림 9. 시스템 전체 흐름도
Fig. 9 System FlowChart

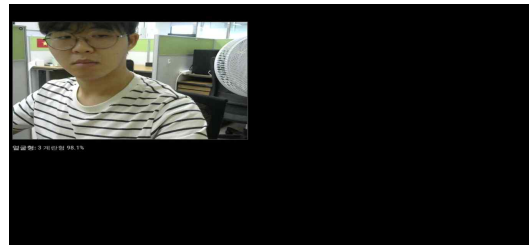
IV. 시스템 시연

4.1 얼굴형분석

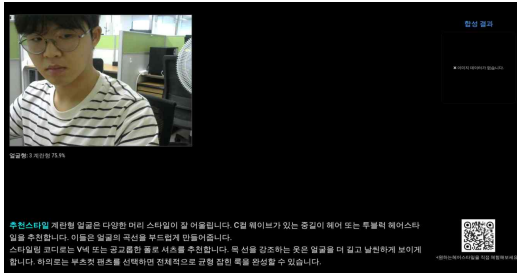
카메라 입력 영상을 기반으로 실시간 얼굴형을 분석한다. 그림10(a)는 얼굴형 분석 전의 상태로, 사용자의 얼굴이 카메라에 인식되었으나 분류결과가 제공되지 않은 초기화면을 나타낸다.

그림10(b)는 얼굴형 분류모델을 통해 분석된 결과 화면으로, 사용자의 얼굴이 계단형으로 분류된 것을 확인할 수 있다.

해당 결과는 MagicMirror화면에 즉시 출력되며, 하단에는 분석된 얼굴형에 적합한 헤어스타일 추천 문구와 스타일합성웹QR이 함께 표시된다.



(a). 얼굴형분석 전



(b). 얼굴형분석 후
그림 10. 얼굴형분석

Fig. 10 Analsis Face Shape

4.2 헤어스타일 합성 웹페이지

헤어스타일 합성과정은 웹 기반 인터페이스를 통해 수행된다. 그림11은 본 연구에서 구현한 “연예인 헤어스타일 합성기”웹페이지를 나타낸다. 사용자는 1.자신의 얼굴 사진, 2.합성할 연예인 스타일 이미지, 3.염색 색상 이미지를 각각 업로드 할 수 있으며, 이후 “변환 시작” 버튼을 클릭하면 서버측 HairFastGAN 모델이 입력 이미지를 기반으로 합성 결과를 생성한다.

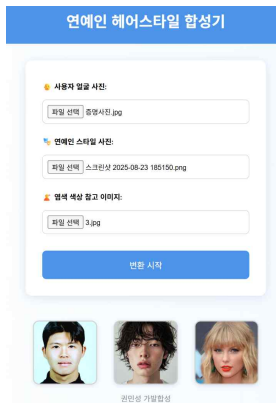


그림 11. 헤어스타일합성기
Fig. 11 Hairstyle Simulation System

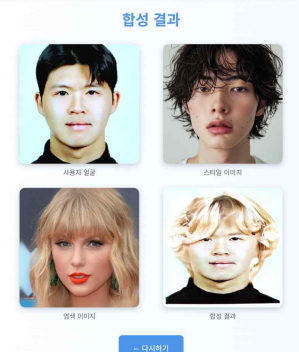
4.3 최종결과

그림12는 시스템의 최종 결과 화면을 보여준다.

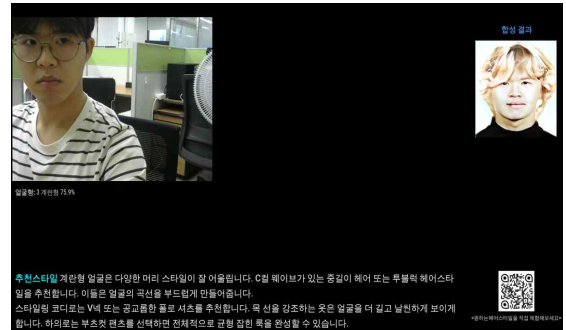
그림 12(a)는 웹페이지 상에서의 합성 결과로, 사용자가 업로드한 본인 사진, 목표 헤어스타일, 원하는 컬러를 HairFastGan통해 생성된 결과페이지를 보여주며, 합성 결과는 네개의 이미지블록(사용자 얼굴, 스타일 이미지, 색상 이미지, 최종결과)으로 구성되어 있어 입력과 결과를 직관적으로 비교할 수 있다.

그림12(b)는 MAgicMirror디스플레이에 출력된 최

종 결과 화면이다. 사용자는 거울을 보듯 자신의 얼굴 옆에 합성된 헤어스타일 이미지를 동시에 확인할 수 있으며, 이를 통해 웹페이지에서 진행된 합성 과정을 실제 화면에서도 직관적으로 체감할 수 있도록 하였다.



(a). 웹페이지 결과



b). MagicMirror에서의 결과



c). 전체결과

그림 12. 결과
Fig. 12 Result

4.5 다양한 합성 시도

본 연구에서 제안한 시스템중 스타일 합성기의 일반

화 성능과 활용 가능성을 확인하기 위해 다양한 사용자 얼굴과 연예인 헤어스타일 이미지를 조합하여 실험을 진행하였다. 그림 13은 서로 다른 얼굴형과 스타일 이미지를 입력으로 하여 생성된 합성 결과를 보여준다.

좌측 상단의 예시는 남성 사용자 얼굴에 웨이브 스타일을 합성한 결과이며, 우측 상단은 짧은 머리 사용자 얼굴에 긴 웨이브 스타일과 금발색상을 적용한 사례를 나타낸다. 또한 하단의 예시에서는 수염이 있는 성인 남성 얼굴이나 독특한 컬러의 헤어스타일 이미지를 입력으로 사용하였음에도 불구하고, 모델은 원본 얼굴의 특징으로 보존하면서도 자연스러운 합성이미지를 생성하였다.

이러한 다양한 실험 결과는 연구한 시스템이 특정 얼굴형이나 헤어스타일에 국한되지 않고, 여러 조건에서도 안정적인 합성 성능을 발휘함을 보여준다. 특히 사용자는 웹페이지 인터페이스를 통해 원하는 얼굴 사진과 스타일 이미지를 자유롭게 조합할 수 있어, 실시간으로 다양한 헤어스타일 체험이 가능하다. 이는 맞춤형 스타일 추천 서비스뿐만 아니라 미용 산업 전반에서 활용 가능성이 있음을 시사한다.



그림 13. 다양한 결과

Fig. 13 Various Results

V. 결론

5.1 시스템 의의

본 시스템의 가장 큰 의의는 상용 AI 프로필 생성 서비스들의 결과 수령까지 수 시간 이상 소요되기도 하는 반면 해당 시스템은 1~2분 이내의 응답성을 제공한다. 품질 면에서는 지연시간-품질 절충이 존재하여 초고해상도 결과 대비 세부 질감이 다소 보수적일 수 있으나, 거울 기반 체형과 스타일 의사결정이라는 사용 맥락에서 실용적 품질을 안정적으로 달성했다는 점에 의의가 있다.

제안 시스템은 사용자 주도형 컨트롤을 제공한다. 사용자는 사진의 얼굴사진, 목표 헤어스타일, 원하는 컬러를 조합해 원하는 스타일을 지정할 수 있으며, 이는 미리 고정된 스타일을 선택하는 방식의 기존 서비스와 차별화된다. 또한 라즈베리파이에서 저비용으로 전처리(얼굴형 분류)를 수행하고, 서버에서 연산을 진행해 연계하는 에지-클라우드 분산구조를 채택해 보급성과 운영 효율성을 높였다. 합성 결과는 디스플레이에 즉시 피드백되어 거울을 보듯 직관적으로 확인할 수 있으며, 이와 같은 특성은 미용 상담, 가발 시뮬레이션 등 현장 적용 가능성을 확장한다.

5.2 시스템 한계 및 개선사항

MagicMirror 환경에서 직접 촬영한 이미지 입력은 조명(밝기·색온도), 포즈(정면 이탈), 장애물(앞머리, 뒷배경, 모자) 등에 민감하여 성능 변동이 발생한다. 2D합성 특성상 측면 고개 숙임에서 볼륨감, 질감 등의 표현이 제한되고, 헤어라인 경계부에서 크기 정렬 불일치가 잦았다.

향후 개선으로는 입력 품질 관리와 정합 보정을 최우선으로 한다. 촬영 단계에서 정면 각도 얼굴 비율·조도를 실시간 지표로 안내해 양호 조건에서만 캡처를 유도하고 MediaPipe 랜드마크 기반 정렬과 스케일 조정보정을 적용한다. 이러한 개선들을 통해 본 시스템은 실시간성, 사용자 통제성, 저비용 보급성을 유지하면서도 상용 수준의 일관성과 심미성을 점진적으로 확보할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 20##년 --대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임

홍길동(Gil-dong Hong)

사이즈 0000년 □□대학교 □□학과 졸업(공학사)
23mm×28mm 0000년 □□대학교 대학원 □□학과 졸업(공학석사)

References

- [1] 황기태, 김경미, 김유진, 박 채원, 유송연, 정인환 and 이재문. (2022). 스마트 미러간 화상 통화와 메시징 기능을 가진 CoMirror 시스템 구현. 한국인터넷방송통신학회 논문지, 22(6), 121-127.
- [2] 강대철, 임종석, 이길호, 이범희 and 박형근. (2022). 음성인식을 이용한 개인맞춤형 스마트 미러. 한국전자통신학회 논문지, 17(6), 1121-1128.
- [3] 강수빈, 권승하, 김윤호, 이수익 and 한영오. (2021). 스타일링을 위한 스마트 미러. 한국전자통신학회 논문지, 16(6), 1271-1278.
- [4] 김성덕, 송민석, 주현진, 박현아 and 한영오. (2020). 헤어 스타일링을 위한 스마트 미러 시스템 개발. 한국전자통신학회 논문지, 15(1), 93-100.
- [5] 여운찬, 박신후, 문진완, 한영오 and 안성원. (2019). 음성인식을 이용한 개인환경의 스마트 미러. 한국전자통신학회 논문지, 14(1), 199-204.
- [6] 이한상, 우아라 and 홍헬렌. (2024). 의료영상 분류를 위한 심층신경망 훈련에서 StyleGAN 합성 영상의 데이터 증강 효과 분석. 한국컴퓨터그래픽스학회논문지, 30(4), 19-29.
- [7] Nikolaev, M., Kuznetsov, M., Vetrov, D., & Alanov, A. (2024). HairFastGAN: Realistic and robust hair transfer with a fast encoder-based approach. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2404.01094>

0000년 □□대학교 대학원 □□학과 졸업(공학박사)
0000년 □□대학교 컴퓨터공학과 교수
0000년 ~현재 □□시 □□□□ 위원
※ 관심분야 : □□통신시스템, □□통신

저자 소개