

특허명세서 요약

표준화된 촬영 환경 기반의 퍼스널컬러 진단 및 컬러 시뮬레이션 장치 및 그 방법 (가칭)

1. 시스템 개요 (System Overview)

본 시스템은 사용자의 얼굴 이미지를 분석하여 퍼스널 컬러 타입을 진단하고, 이에 최적화된 립 컬러를 추천한 뒤, 사용자가 선택한 질감(Texture)을 반영하여 가상 시뮬레이션을 수행하는 통합 솔루션입니다.

1.1 핵심 프로세스

- 1. Diagnosis (진단):** 사용자 피부 톤(LAB) 분석 → 퍼스널 컬러 타입 확정(1종) + 추천 립 컬러 결정
- 2. Selection (선택):** 사용자 취향에 따른 텍스처(Glossy/Matte/Satin) 선택
- 3. Rendering (합성):** 추천된 컬러와 선택된 텍스처를 원본 입술 위에 물리 기반 렌더링(PBR)으로 합성

1.2 아키텍처 다이어그램

```
graph TD
    Device[전용 기기 얼굴 촬영] --> UserImage[얼굴 이미지 입력]
    UserImage --> Analysis[퍼스널 컬러 분석 모듈]
    Analysis -->|LAB 분석/계절 판정| Diagnosis[타입 확정 & 컬러 추천]
    Diagnosis -->|"추천 컬러(Hex)"| RenderEngine[립 합성 엔진]
    UserSelect[사용자 텍스처 선택] -->|Glossy/Matte/Satin| RenderEngine
    RenderEngine --> FinalImage[최종 합성 결과]
```

2. 하드웨어 설계 명세 (HW Specification)

1. 하드웨어 설계 개요

본 장치는 스마트폰이나 웹캠 등 비표준 환경에서 발생하는 조명, 거리, 색온도의 변수를 통제하여 전문가 수준의 정밀한 피부색 측정이 가능하도록 설계된다. 모든 광학적 요소는 데이터의 일관성과 재현성을 보장하는 데 목적을 둔다.

2.1 표준화된 조명 환경 (Lighting Standardization)

측정 환경의 외부 변수를 차단하기 위해 다음과 같은 조명 규격을 적용한다.

- **고정 색온도:** 5500K(± 50 K)의 표준 주광색 광원을 사용하여 주변광에 의한 색상 간섭을 제거한다.
- **고연색성 광원:** 연색지수(CRI) 90 이상의 LED를 사용하여 피부 본연의 색을 정확하게 재현한다.
- **균일 조명비:** 피사체에 그림자가 생기지 않도록 균일한 조명비를 구성하여 분석 영역(ROI)의 데이터 왜곡을 방지한다.

2.2 물리적 거리 제어 및 노출 최적화 (Distance & Exposure Control)

거리 변화에 따른 조도 편차를 최소화하기 위한 능동형 제어 기술을 탑재한다.

- **라이다(LiDAR) 거리 센서:** 피사체와 카메라 간의 거리를 실시간으로 감지(측정 범위 10cm~12m)하여 정밀한 조도를 계산한다.
- **가변 구동부(Actuator):** 라이다 센서의 거리 측정값에 따라 액츄에이터가 카메라 또는 피사체 위치를 미세 조정하여 적정 노출을 확보한다.
- **노출 가이드 시스템:** 조명 거리에 따른 노출 과다/부족 상황을 인지하고 최적의 셔터 타이밍을 자동 결정한다.

2.3 고해상도 광학 모듈 (High-Resolution Optical Module)

이미지 센서 차이에 의한 기계적 편차를 방지하기 위해 전문 촬영 장비를 사용한다.

- **DSLR 카메라:** 스마트폰 센서의 소프트웨어 보정을 배제하고, 원본(RAW/High-quality JPEG) 데이터의 선예도를 확보하기 위해 DSLR(Canon EOS R10 등)을 채택한다.
- **화이트 밸런스 고정:** 광원의 색온도와 카메라의 화이트 밸런스를 1:1로 매칭하여 시스템적인 색채 편차를 원천 차단한다.

3. 정밀도 유지 및 관리 (Maintenance)

- **컬러 프로파일링:** Calibrite 컬러체커를 이용하여 정기적으로 ICC 프로파일을 생성하고 시스템 색 정확도를 유지한다.
- **원격 업데이트:** 1개월 주기로 컬러 프로파일을 업데이트하여 하드웨어 노후화에 따른 색상 변이를 보정한다.

3. 퍼스널 컬러 진단 엔진 (Diagnosis Engine)

본 시스템은 머신러닝(Black-box)이 아닌, **설명 가능한 규칙 기반(Rule-based)** 알고리즘을 사용합니다.

3.1 입력 데이터 및 전처리

- **입력:** 조명(CCT값) 및 화이트밸런스(WB)가 통제된 얼굴 정면 이미지.
- **전처리:** MediaPipe FaceMesh를 이용해 피부 ROI(Region of Interest)를 추출하고 평균 LAB 색상 값을 계산합니다.

3.2 진단 알고리즘 파이프라인

1. 파생 지표 계산:

- 채도(C) = 채도(C) = $\sqrt{a^2 + b^2}$
- 뽀/쿨 지표(T) = $b + 0.2a$ (b * 값이 온도 판단의 핵심)

2. 계절(Season) 판정 (Stage 1):

- 사용자의 T 값과 각 계절 기준값 사이의 거리를 계산하여 가장 가까운 계절을 확정합니다. (뽀/쿨 분리)

3. 세부 타입 확정 (Stage 2):

- 확정된 계절 내 세부 타입들과의 색차(ΔE) 및 패널티 점수를 계산합니다.
- **Final Score** = $\Delta E + \lambda P + \lambda P + \lambda P$ (명도, 채도, 온도 패널티의 가중합)
- 최소 점수를 가진 타입을 최종 퍼스널 컬러로 확정합니다.

4. 립 시뮬레이션 렌더링 엔진 (Rendering Engine)

단순한 2D 색상 합성이 아닌, 입술의 입체감과 광학적 특성을 고려한 **2.5D 물리 기반 렌더링**을 수행합니다.

4.1 렌더링 파이프라인

1. **Lip Segmentation:** 입술 영역 마스크 추출
2. **LCS (Lip Coordinate System):** 입술 전용 좌표계 구축
3. **Fake Normal Generation:** 기하학적 곡률 + 미세 텍스처 → 법선 벡터 생성
4. **Lighting Calculation:** Specular(반사광) 및 Clear Coat(코팅광) 연산
5. **Compositing:** Base Color + Lighting Layers 합성

4.2 주요 중간 산출물 (Intermediate Maps) 상세 가이드

렌더링 품질을 결정짓는 핵심 Map들의 역할과 생성 원리는 다음과 같습니다.

A. Geometry & Coordinate Maps (기하 구조)

Map 이름	설명 및 역할
lip01 (Soft Mask)	입술의 전체 영역을 정의하는 0~1 마스크입니다. 경계선에 Feathering(부드러운 처리) 이 적용되어 있어, 립 컬러가 피부에 자연스럽게 스며들도록 합니다.
x_hat	입술의 좌측 끝(-1)부터 우측 끝(1)까지의 가로 정규화 좌표 입니다. 입술의 대칭성을 제어하는 데 사용됩니다.
y_hat	입술 중앙선(0)을 기준으로 윗입술 끝(-1), 아랫입술 끝(1)을 정의하는 세로 정규화 좌표 입니다. 윗입술과 아랫입술을 논리적으로 구분하고 깊이감을 부여하는 핵심 기준입니다.
r	입술 중앙선으로부터의 수직 거리($ y_hat $)입니다. 입술 중앙에서 외곽으로 갈수록 값이 커지며, 하이라이트의 감쇄(Falloff) 나 볼륨감을 계산할 때 사용됩니다.

B. Physics Maps (물리 속성)

Map 이름	설명 및 역할
normal_Nx / Ny / Nz	각 픽셀이 바라보는 방향을 나타내는 법선 벡터(Normal Vector) 입니다.- Nx : 좌우 경사- Ny : 상하 경사 (입술의 볼륨감 결정)- Nz : 정면 돌출 정도기하학적 곡률(Macro)과 이미지의 미세 주름(Micro)을 결합하여 생성됩니다.
normal_length	생성된 법선 벡터의 크기입니다. 렌더링 오류가 없다면 모든 입술 영역에서 균일한 값(1.0)을 가져야 합니다.

C. Lighting Maps (조명 효과)

Map 이름	설명 및 역할
spec (Specular)	직접 반사광 영역입니다. 법선 벡터와 조명 방향(LIGHT_DIR)의 내적(Dot Product)을 통해 계산됩니다. 립스틱 자체의 유분기나 수분감에 의한 1차 광택을 표현합니다.
hwf (Highlight Weight Function)	Clear Coat(투명 코팅막) 가 맷힐 최적의 위치 를 지정하는 가중치 맵입니다. LCS 좌표계를 기반으로 입술 산(Cupid's bow)이나 아랫입술 중앙 등에 하이라이트를 강제로 위치시켜 미적으로 아름다운 결과를 유도합니다.
clear_spec	2차 코팅 광택 입니다. hwf 영역 내에서 계산되며, 립글로스나 탕후루 립처럼 입술 위에 씌워진 투명하고 매끄러운 막의 반짝임을 표현합니다. 미세한 주름을 메우는 효과(Texture Smoothing)가 반영됩니다.