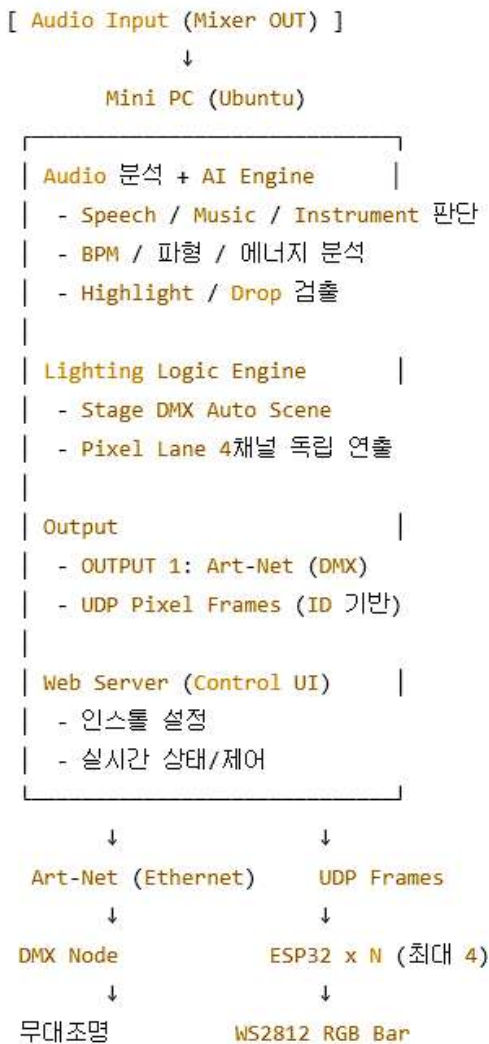


AI_Stage_Lighting_System_Design_Summary

1. 시스템 한 줄 정의

본 시스템은 Ubuntu 기반 미니PC 셋업을 중심으로, 오디오 입력을 분석하여 무대조명(DMX)과 반응형 RGB 픽셀 바를 현장 인스톨 정보 기반으로 자동·실시간 연출하는 무인 공연용 AI 조명 컨트롤 시스템이다.

2. 전체 아키텍처 개요



3. 출력 시스템 구성

OUTPUT 1 - 무대조명 (DMX)

- 1)전송 방식: Ethernet / Art-Net
- 2)출력 단위: DMX Universe 1개 (512채널)
- 3)실제 사용 채널 수: 현장 인스톨에 따라 가변 (예: 62채널)
- 4)용도:
 - 무대 전체 베이스 조명
 - Ambient 연출
 - 멘트 시 Dim to Ambient
 - 음악 하이라이트 시 확장 연출

✂️ 중요 개념

- 조명 개수 \neq 전송 채널 수
- 항상 **Universe 단위(512채널)**로 송출
- 각 조명은 **자기 DMX 시작 주소(Start Address)**부터 채널 수만큼 읽음

OUTPUT 2~5 - 반응형 RGB 픽셀 바

- 1) 통신: UDP 네트워크 데이터
- 2) 노드: ESP32 / Teensy / 전용 픽셀 컨트롤러
- 3) 최대 채널 수: 4채널
- 4) 채널당 최대 픽셀 수: 1024 픽셀 프레임: 30fps 고정
- 5) 채널별 연출: 모두 독립 (미러 금지)
- 6) 픽셀 채널 개념
 - 각 ESP32는 **자기 Node ID(output_id)**를 가짐
 - Mini PC는 프레임 생성 시 output_id 포함
 - ESP32는 자기 ID에 해당하는 데이터만 수신·출력

4. 오디오 기반 AI 분석 구조

1) 입력 오디오

- 믹서 메인 출력 1계통
- 멘트 / 음악 / 악기 단독 / 환경 소리 혼합 가능

2) 분석 항목 (v1)

- RMS (음량)
- 주파수 대역 에너지 (Low / Mid / High)
- Spectral Flux (변화량)
- Onset Density (리듬 밀도)
- BPM / Beat (신뢰도 높을 때만 사용)

3) 상황 인식(Mode)

- SPEECH: 멘트, 안내, MC
- MUSIC (Percussive): EDM, 댄스
- MUSIC (Harmonic): 발라드, 악기 단독, 클래식
- IDLE: 무신호 / 대기

4) 하이라이트 / 드롭

- 특징량 기반 Highlight Score
- 일정 시간 유지 + 히스테리시스
- 하이라이트 시:

무대조명: 밝기/채도 확장

픽셀: 체이스/스파크/대비 강화

✂ v1에서는 추가 학습 불필요

- Pre-trained 모델 + DSP + 파라미터 튜닝
- 필요 시 v2에서 학습/파인튜닝 가능

5. 무대조명 인스톨 개념 (매우 중요)

1) 조명 주소 개념

- 조명은 **ID가 아니라 DMX 시작 주소(Start Address)**를 가짐
- RGB / RGBW / Dimmer 등 채널 수만큼 연속 채널을 읽

예시

장비	채널수	Start Addr	사용 채널
RGBW 워시 1	4	1	1-4
RGBW 워시 2	4	5	5-8
RGB 바 1	3	41	41-43
디머 1	1	59	59

2) 인스톨 UI에서 반드시 필요한 입력

- 장비 타입 (RGB / RGBW / Dimmer 등)
- 채널 모드
- DMX Start Address (필수)
- 무대 위치 (X,Y,Z)
- 그룹 (전면/후면/측면 등)

3) UX 원칙

- 주소 자동 계산/추천
- 수동 수정 가능
- 중복/512 초과 시 경고
- DMX 테스트(Identify) 기능 제공

6. RGB 픽셀 바 인스톨 개념

1) 채널별 입력 정보

- Node ID / IP
- 픽셀 수 (0~1024)
- 픽셀 타입 / 순서
- 설치 형태:
 - 가로/세로
 - 매트릭스
 - 분절
 - U/L 형태

✂ 내부적으로 1D 인덱스 ↔ 2D 좌표 매핑 생성

→ 설치 형태에 맞는 자연스러운 연출

7. Mini PC 소프트웨어 구성

1) OS

- Ubuntu Server 22.04 LTS (권장)
- Headless 운영

2) 프로세스 구성

2-1) AI Engine

- 오디오 분석
- 연출 로직
- Art-Net / UDP 송출

2-2) Web Server (FastAPI)

- 설정 UI
- 실시간 상태 모니터링

2-3)(옵션) File Player 제어

3)서비스

- systemd 등록
- 부팅 시 자동 실행

- 장애 시 자동 재시작

8. Web UI 역할 (운영 핵심)

1) 주요 기능

- 실시간 상태 대시보드
- 모드 강제 전환(자동/수동)
- 무대조명 인스톨 설정
- RGB 픽셀 채널 설정 (최대 4)
- 파일 플레이리스트 관리
- 오디오 민감도/하이라이트 강도 조절

2) UX 구조

- 설치 마법사(Install Wizard)
- 현장 세팅 최소 클릭
- 모바일/태블릿 대응

9. 운영 원칙 (무인 기준)

- 모든 출력은 Fail-safe
네트워크 끊김 → 마지막 프레임 유지 → 서서히 Dim
- Art-Net과 픽셀 네트워크 분리 가능
- 주소/설정 변경은 UI에서만
- 로그/이벤트 기록 필수

10. 최종 핵심 요약

1) 무대조명

- Universe 1개
- DMX Start Address 기반
- 자동 Ambient 연출

2) RGB 픽셀

- 네트워크 기반
- 최대 4채널
- 채널당 1024픽셀 / 30fps
- 완전 독립 연출

3) AI

- 학습 없이도 실무 가능
- 하이라이트/드롭 중심

4) UI

- 인스톨 정보 입력이 곧 연출의 기준

5) 구조

- 현장 친화적
- 확장 가능
- 무인 운영 안정성 중심