

# 철도차량 음성방송 시스템 설계 문서 (초안)

(COP 음성 방송 및 비상통화)

문서 버전: 1.0

최종 수정일: 2025-10-16

작성자: 김명환

## 철도차량 음성방송 시스템 설계 문서 (초안)

실제 HW에 대한 기능 테스트가 되지 않았습니다. HW 적용 전 기능 테스트를 통한 설계 보완이 필요할 수 있습니다. AVC와 연계 없는 독립 모델로 설계하였습니다. AVC 연계 시 제어 및 서버를 재 설계해야 합니다.

### 목차

- 1. 개요
- 2. 시스템 구성
- 3. 시스템 아키텍처
- 4. 방송 시스템
- 5. 비상통화 시스템
- 6. 제어 프로토콜
- 7. 기술 스택
- 8. 구현 고려사항
- 부록

## 1. 개요

### 1.1 문서 목적

본 문서는 철도차량 음성방송 시스템의 기술적 설계를 정의한다. 시스템의 구조, 핵심 컴포넌트, 기술 스택, 그리고 구현 고려사항을 기술하여 개발 가이드를 제공한다.

### 1.2 시스템 개요

철도차량 음성방송 시스템은 COP(Central Operating Panel)를 중심으로 철도차량에 대해 실내 및 실외 방송, 그리고 승객 비상통화 기능을 제공한다.

#### 주요 기능:

- 실내/실외 마이크 방송
- 실내/실외 MP3 재생 방송
- 승객 비상통화 (양방향 음성)

#### 차량 구성:

- 기본: 8 량 편성
- 확장: 중련 시 16 량 (8 량 + 8 량)

### 1.3 핵심 설계 원칙

- 단순성(Simplicity): 복잡한 소프트웨어 로직 배제, 핵심 기능에 집중
- 안정성(Stability): 검증된 기술 스택 사용 (live555, Opus, PulseAudio)
- 경량화(Lightweight): 최소 의존성, 임베디드 환경 고려
- 2 중화 의존: 물리적 2 중화에 의존, 소프트웨어 복잡도 최소화

## 2. 시스템 구성

### 2.1 차량 구성

#### 기본 구성 (8 량):

- 8 량 철도차량
- 24 개 스피커 앰프 (차량당 3 개)
- 32 개 비상인터폰 (차량당 4 개)

#### 확장 구성 (중련 16 량):

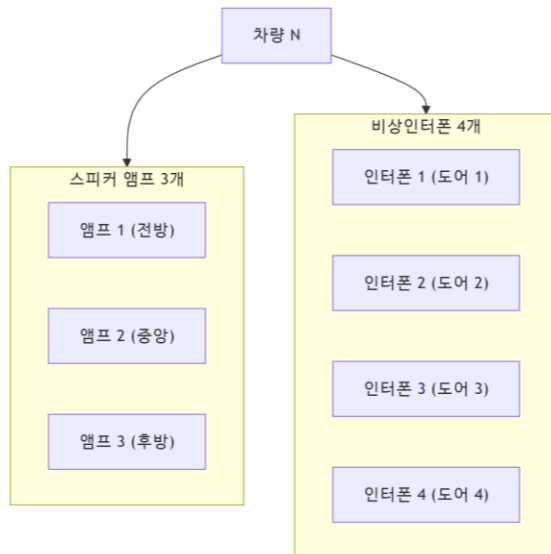
- 16 량 철도차량 (8 량 + 8 량)
- 48 개 스피커 앰프
- 64 개 비상인터폰

#### 중련 인식:

- 중련 시 자동 인식 (물리적 연결 감지)
- 상세 메커니즘은 본 문서 범위 외

### 2.2 장치 구성

#### 차량당 장치:



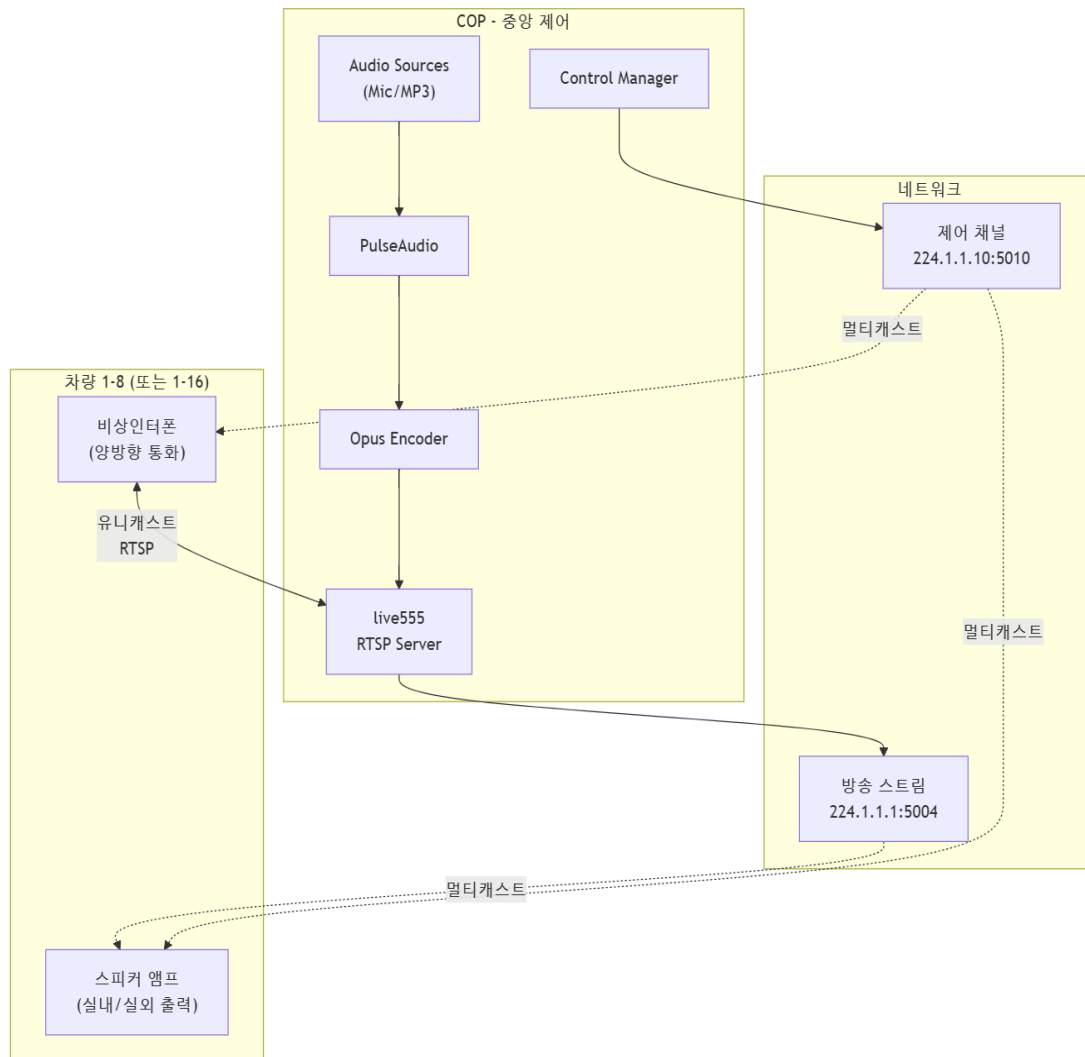
### 2.3 중련 확장

#### 8 량 → 16 량 전환:

- 물리적 중련 시 자동 인식
  - 네트워크 자동 확장
  - 추가 장치 자동 등록
  - 설정 변경 불필요
-

### 3. 시스템 아키텍처

#### 3.1 전체 구성도



#### 3.2 COP 중앙 마이크 제어 시스템

##### 플랫폼:

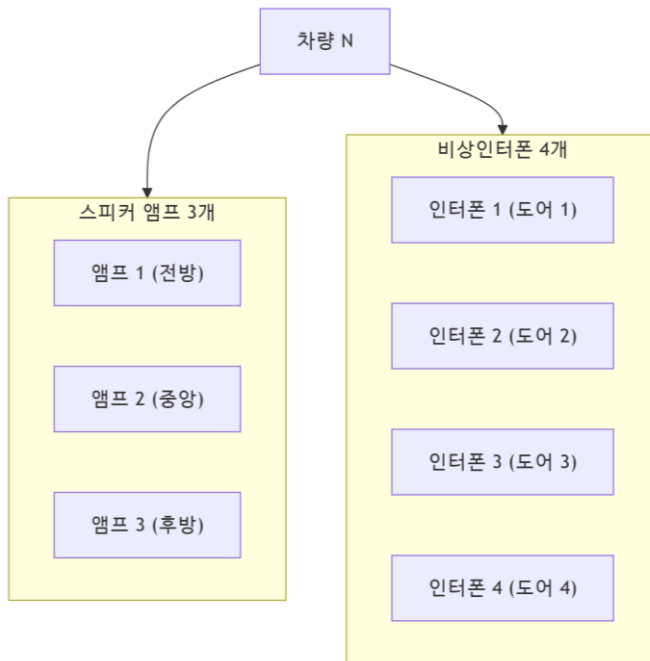
- OS: Ubuntu 20.04 LTS
- 개발 프레임워크: Qt 5.15+

##### 소프트웨어 구성:

- **PulseAudio:** 오디오 소스 믹싱
- **Opus Encoder:** 오디오 인코딩
- **live555:** RTSP 서버 (멀티캐스트 방송 + 유니캐스트 비상통화)
- **Qt Application:** GUI 및 제어 로직

##### 주요 기능:

- 마이크 및 MP3 오디오 소스 관리
- 실내/실외 방송 제어 (제어 채널로 명령 송신)
- 비상통화 수신 및 응답



#### 플랫폼:

- OS: Ubuntu 20.04 LTS (또는 임베디드 리눅스)

#### 소프트웨어 구성:

- **live555 RTSP Client:** 방송 스트림 수신
- **Opus Decoder:** 오디오 디코딩
- **ALSA:** 오디오 출력 (실내/실외 스피커)
- **Control Listener:** 제어 채널 수신

#### 주요 기능:

- RTSP 멀티캐스트 스트림 수신
- Opus 디코딩
- 실내/실외/동시 출력 제어 (제어 명령에 따라)
- 볼륨 제어

### 3.4 비상인터폰 장치

#### 플랫폼:

- OS: Ubuntu 20.04 LTS (또는 임베디드 리눅스)

#### 소프트웨어 구성:

- **PulseAudio:** 마이크 입력 캡처 (COP 및 비상인터폰 공통)
- **Opus Encoder/Decoder:** 양방향 인코딩/디코딩
- **live555 RTSP Server:** 승객 음성 송신
- **live555 RTSP Client:** 기관사 응답 수신
- **ALSA:** 오디오 입출력

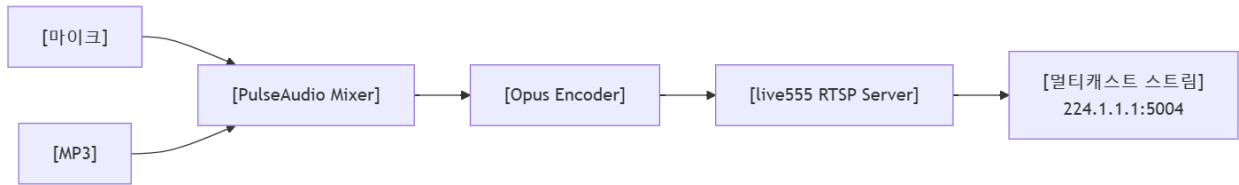
#### 주요 기능:

- 비상 버튼 인터페이스
- 승객 음성을 RTSP 로 COP 에 전송
- COP 로부터 기관사 응답 수신 및 재생

## 4. 방송 시스템

### 4.1 오디오 처리 흐름

COP 오디오 처리:



**PulseAudio 구성:**

- 가상 싱크(Virtual Sink) 생성
- Loopback 모듈로 마이크 및 MP3 라우팅
- 48kHz, 모노 출력

**Opus 인코딩 파라미터:**

- 샘플레이트: 48 kHz
- 채널: 모노
- 비트레이트: 64 kbps
- 프레임 크기: 20ms
- 애플리케이션 타입: OPUS\_APPLICATION\_VOIP

### 4.2 실내/실외 방송 제어

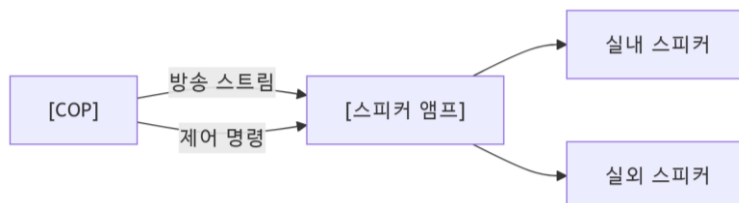
**단일 스트림 방식:**

- COP는 하나의 방송 스트림만 생성 (224.1.1.1:5004)
- 실내/실외 구분은 제어 채널(224.1.1.10:5010)을 통해 설정
- 각 스피커 앰프가 제어 명령에 따라 출력 경로 선택

**스피커 앰프 출력 제어:**

- 실내 전용: 실내 스피커만 출력
- 실외 전용: 실외 스피커만 출력
- 동시 출력: 실내 + 실외 동시 출력

**처리 흐름:**



### 4.3 RTSP 멀티캐스트 스트리밍

**live555 사용:**

- RTSP 서버 구현
- 멀티캐스트 주소: 224.1.1.1
- RTP 포트: 5004
- Opus 페이로드 타입: 96 (dynamic)

**스트림 URL:**

rtsp://224.1.1.1:5004/broadcast

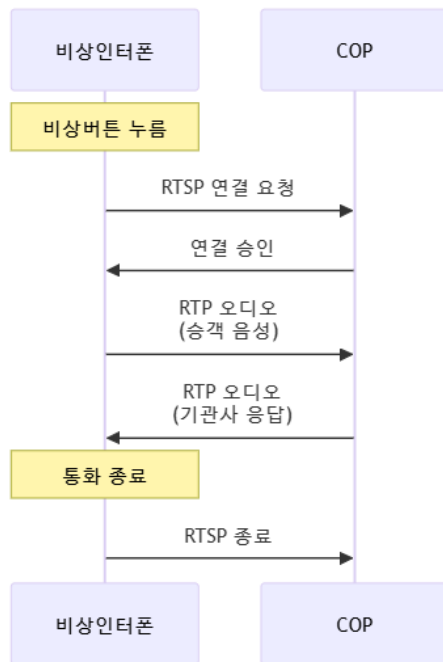
**특성:**

- 단일 스트림, 모든 스피커 앰프 공유
- 네트워크 대역폭 효율적 (~70 kbps)

## 5. 비상통화 시스템

### 5.1 양방향 통신 구조

통신 흐름:



### 5.2 RTSP 서버/클라이언트 구성

비상인터폰:

- RTSP Server: 승객 음성 송신 (포트 855X)
- RTSP Client: 기관사 응답 수신

COP:

- RTSP Client: 승객 음성 수신 (각 비상인터폰에서)
- RTSP Server: 기관사 응답 송신 (포트 8554)

PulseAudio 사용 (마이크 입력):

- COP 및 비상인터폰 모두 PulseAudio 사용
- 마이크 샘플링 통일 (48kHz, 모노)
- 일관된 오디오 처리

Opus 인코딩/디코딩:

- 양방향 모두 Opus 코덱 사용
- 저지연 설정 (20ms 프레임)

## 6. 제어 프로토콜

### 6.1 제어 채널 개요

멀티캐스트 제어 채널:

- 주소: 224.1.1.10:5010
- 프로토콜: UDP
- 페이로드: 간단한 제어 메시지 (바이너리 또는 텍스트)

**특성:**

- 지속적으로 멀티캐스트 전송
- 제어 비트 포함
- 각 장치는 해당 비트 확인 후 동작
- 패킷 손실에도 동작 보장 (주기적 전송)

## 6.2 제어 명령 유형

제어 프로토콜의 상세 명령은 본 문서에서 최소화하며, 주요 기능만 나열한다:

**방송 제어:**

- 방송 시작/중단
- 실내/실외/동시 출력 선택

**볼륨 제어:**

- 전체 볼륨 조정
- 개별 장치 볼륨 조정

**비상통화 제어:**

- 비상 호출 알림
- 통화 종료

**기타:**

- 장치 상태 요청/응답
- 시스템 상태 모니터링

**참고:**

- 프로토콜 레벨의 상세 사양은 별도 문서에서 정의

## 6.3 보안

**암호화 (옵션):**

- 필요 시 AES-256 암호화 적용 가능
- 제어 메시지 보호
- 구현은 선택 사항

---

## 7. 기술 스택

### 7.1 오디오 처리

**PulseAudio (COP 및 비상인터폰):**

- 마이크 샘플링
- 오디오 믹싱 (COP)
- 가상 디바이스 및 loopback

**ALSA (스피커 앰프 및 비상인터폰):**

- 저지연 오디오 출력
- 임베디드 환경에 적합
- 경량화

**Opus 코덱:**

- 라이브러리: libopus

- 저지연, 고품질 음성 인코딩
- 패킷 손실 복구 기능

## 7.2 스트리밍

### live555:

- RTSP 서버/클라이언트 구현
- 멀티캐스트 지원
- RTP/RTCP 처리
- 경량화 및 안정성

### 사용 이유:

- 검증된 라이브러리
- 상용 제품에 사용 (VLC, FFmpeg 등)
- 멀티캐스트 네이티브 지원

## 7.3 애플리케이션 프레임워크

### Qt 5.15+:

- COP GUI 개발
- 이벤트 루프 및 시그널-슬롯
- 멀티스레딩 지원
- 크로스 플랫폼

### 사용 모듈:

- Qt Core: 기본 클래스 및 이벤트
- Qt Widgets: GUI
- Qt Multimedia: MP3 재생
- Qt Network: 네트워크 보조

---

## 8. 구현 고려사항

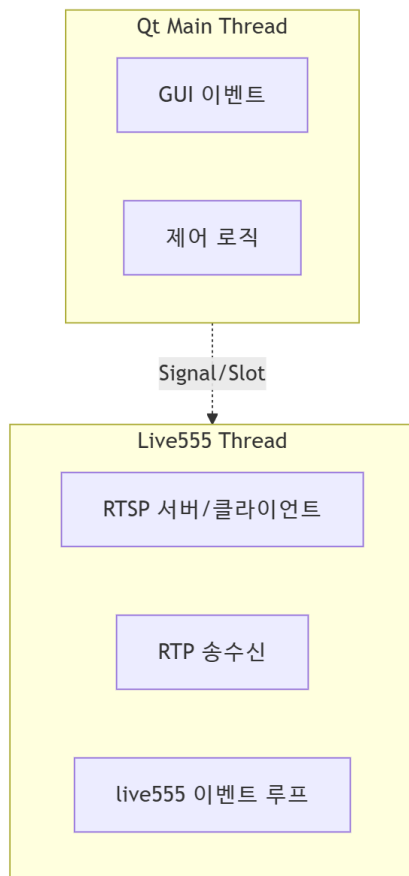
### 8.1 멀티스레딩

#### live555 이벤트 루프와 Qt 분리:

- live555 는 자체 이벤트 루프 사용
- Qt 메인 이벤트 루프와 충돌 방지
- 해결책: QThread 로 live555 이벤트 루프 분리

#### 구조:





#### 통신:

- Qt Signal/Slot 으로 스레드 간 통신
- QueuedConnection 사용

## 8.2 성능 및 안정성

#### 완전한 제어 가능:

- live555 기반으로 모든 스트리밍 제어
- 멀티캐스트 및 유니캐스트 유연하게 사용
- 네트워크 파라미터 조정 가능

#### 경량화:

- 최소 의존성
- 임베디드 환경 고려
- CPU 및 메모리 사용 최소화

#### 안정성:

- 물리적 2 중화에 의존
- 소프트웨어 복잡도 최소화
- 검증된 기술 스택 사용

## 8.3 확장성

#### 차량 증가 대응:

- 8 량 → 16 량 자동 확장

- 네트워크 자동 인식 - 설정 변경 불필요

#### 향후 확장 가능성:

- 외치등(Station Announcement) 등 추가 시스템 연계 가능
- 주요 기능(방송 및 통화) 우선, 추가 기능은 향후 검토

## 부록

### A. 네트워크 구성

#### 멀티캐스트 주소:

서비스	주소	포트	설명
방송 스트림	224.1.1.1	5004	Opus 오디오 (RTP)
제어 채널	224.1.1.10	5010	제어 메시지 (UDP)

#### 유니캐스트 포트:

장치	포트	용도
COP	8554	비상통화 응답 송신
비상인터폰 N	8555 + N	승객 음성 송신 (N: 0~63)

#### 대역폭:

- 방송 스트림: ~70 kbps
- 제어 채널: ~2 kbps
- 비상통화 1 개: ~140 kbps (양방향)
- 최대 동시 통화 3 개: ~420 kbps
- 총 대역폭 (피크): ~500 kbps

### B. 시스템 사양 요약

#### COP:

- OS: Ubuntu 20.04 LTS
- CPU: Intel i5 쿼드코어 이상
- RAM: 4GB
- 네트워크: 기가비트 이더넷

#### 스피커 앰프 (차량당 3 개):

- OS: Ubuntu 20.04 또는 임베디드 리눅스
- CPU: ARM Cortex-A53 이상
- RAM: 512MB
- 네트워크: 100Mbps 이더넷

#### 비상인터폰 (차량당 4 개):

- OS: Ubuntu 20.04 또는 임베디드 리눅스
- CPU: ARM Cortex-A53 이상
- RAM: 512MB
- 네트워크: 100Mbps 이더넷

#### 오디오 사양:

- 코덱: Opus
- 샘플레이트: 48 kHz
- 채널: 모노
- 비트레이트: 64 kbps
- 프레임 크기: 20ms