

실시간 다채널 오디오 전송 시스템 연구 보고서

유태빈 2025. 10. 21

1. 연구 목적

본 연구의 목적은 WAN 환경에서 DAW 기반 다채널 오디오를 실시간과 안정적으로 송·수신할 수 있는 시스템을 구현하는 것이었다. 특히 이는 실시간으로 공연장에서 이루어지는 공연을 레코딩 스튜디오에서 원격 연주, 믹싱하는 협업 가능성을 가정하여 저지연과 샘플 정확도를 동시에 만족하는 오디오 전송 방식을 검토·실험하였다.

2. 시도한 접근 방법

- (1) AES67 / Dante / AVB 상용 네트워크 오디오 프로토콜 계열
하드웨어 클럭 기반 동기화로 음질과 안정성은 우수하나, WAN 환경 미지원 및 L2/L3 네트워크 제약과 높은 상용 장비 및 인프라 의존성으로 연구 대상에서 제외되었다.
- (2) SRS(Server-based Relay System) 활용
오디오 전송 자체는 안정적이었으나, 미디어 스트림 중심 구조로 인해 공연 환경에 적합한 다채널 DAW 오디오에 부적합하였고 샘플 정확도를 보장할 수 없었다.
- (3) SRS LiveTransist (서버 미경유)
송·수신 오디오 포맷과 타이밍을 강제할 수 없어 DAW 워드클럭 불일치로 틱 노이즈가 발생하였다.
- (4) Tailscale 기반 P2P + ffmpeg
NAT 문제를 해결하고 WAN 연결에는 성공했으나, ffmpeg가 미디어 프레임 기반 처리 방식이기 때문에 오디오 인터페이스 하드웨어 클럭과 동기화가 불가능하여 운용 시 클럭 드리프트와 틱 노이즈가 발생하였다.
- (5) JACK Audio + JackTrip
샘플 단위 오디오 전송을 지원하는 JackTrip을 활용하여 다채널 실시간 전송을 시도하였다. 네트워크 연결 자체는 성공했으나, WAN 환경에서는 공통 워드클럭(샘플 타이밍 기준 신호)을 강제할 수 없어 지속적인 XRUN(오버런) 발생과 틱 노이즈 문제가 해결되지 않았다.

3. 실패 원인 분석

본 연구에서 확인된 실패의 핵심 원인은 네트워크 성능이 아니라 오디오 클럭 동기화 구조의 한계였다. WAN 환경에서는 송·수신 DAW 간 공통 클럭 마스터가 존재하지 않으며, JackTrip과 JACK Audio 역시 네트워크 기반 샘플 전달은 가능하지만 하드웨어 워드클럭 동기화까지 보장하지는 못했 다. 그 결과 샘플 드리프트가 누적되어 XRUN과 틱 노이즈가 발생하였다.

4. 결론 및 의의

본 연구는 실시간 네트워크 오디오의 한계가 단순한 지연이나 대역폭 문제가 아니라 시스템 아키텍처와 클럭 동기화 문제임을 실험적으로 확인하였다. SRS, ffmpeg, JackTrip까지 단계적으로 검증한 결과, WAN 환경에서 DAW 간 실시간 다채널 오디오는 전용 클럭 동기화 구조 없이는 실용적으로 성립하기 어렵다는 결론에 도달하였다. 향후에는 네트워크 전송과 독립적인 클럭 동기화 구조를 포함한 시스템 설계가 필요함을 확인하였다.

