

논문 2009-46TC-12-16

# L1/L2 혼합형 중계 방법을 적용한 이더넷 기반 비압축 오디오 분배 시스템의 성능 분석

(Performance of Uncompressed Audio Distribution System over Ethernet with a L1/L2 Hybrid Switching Scheme)

남 위 정\*, 윤 중 호\*\*, 박 부 식\*\*\*, 조 남 홍\*\*\*\*

(Wie-Jung Nam, Chong-Ho Yoon, Pu-Sik Park, and Nam-Hong Jo)

## 요 약

본 논문에서는 고품질 비압축 오디오 트래픽의 분배 시에 요구되는 낮은 지연 및 지터를 보장하고 이더넷 환경에서 데이터 트래픽의 효율적인 교환을 가능하게 하는 새로운 L1/L2 혼합형 중계 방법을 적용한 이더넷 기반 오디오 분배 시스템을 제안하고 성능을 분석하였다. 제안하는 방식이 적용된 오디오 분배 시스템은 마스터 노드와 다수의 중계 노드로 구성되며 이들은 상호간에 상향·하향 링크를 통하여 데이지 체인 형태로 연결된다. 마스터 노드는 스테레오 24채널에서 PCM 샘플링된 16비트 오디오 채널을 수납할 수 있는 오디오 프레임(125us)의 주기마다 생성하여 하향 링크를 통해 전송한다. 하향 링크를 통하여 오디오 프레임을 수신한 중계 노드들은 생성한 오디오 트래픽을 해당 노드에게 할당된 오디오 채널에 수납하고 다음 중계노드로 물리 계층(L1)의 전송을 한다. 망의 중단 노드는 수신되는 오디오 프레임을 상향 링크를 통하여 마스터 노드로 루프백시키고 오디오가 상향 링크를 통하여 전송되는 과정에서 모든 중계 노드들은 자신이 수신해야 할 오디오 채널을 복사하여 오디오를 재생한다. 오디오 프레임의 송신이 완료되면 남은 기간 동안 중계 노드들은 L2 스위치로 동작하면서 데이터 프레임을 데이터 링크 계층(L2)에서 교환한다. 이와 같은 L1/L2 혼합형 중계 방식의 동작을 위해 노드 입력 부의 물리 계층과 데이터 링크 계층 사이에 존재하는 MII에 오디오 프레임과 데이터 프레임을 구분하는 기능을 가지는 글루오직을 새로 추가하였다. 제안된 방식에 대하여 네트워크 시뮬레이터인 OMNeT++를 사용하고 다양한 파라미터를 통하여 제안된 방식이 오디오 트래픽의 지연 특성과 데이터 트래픽의 전송 효율 면에서 우수한 특성을 제공할 수 있음을 보였다. 제안된 방식은 물리 계층 기반의 전송 또는 데이터 링크 계층 기반의 전송 방식을 사용하는 기존 이더넷 기반 오디오 분배 기술에 비하여 향상된 지연 성능 및 전송 효율을 제공할 수 있어 오디오분배 시스템뿐만 아니라 비디오분배 시스템, 디지털 AV장치 간의 연결 등에도 활용될 수 있다.

## Abstract

In this paper, we propose a Ethernet based audio distribution system with a new L1/L2 hybrid switching scheme, and evaluate its performance. The proposed scheme not only offers guaranteed low latency and jitter characteristics that are essentially required for the distribution of high-quality uncompressed audio traffic, and but also provide an efficient transmission of data traffic on the Ethernet environment. The audio distribution system with a proposed scheme consists of a master node and a number of relay nodes, and all nodes are mutually connected as a daisy-chain topology through up and downlinks. The master node generates an audio frame for each cycle of 125us, and the audio frame has 24 time slotted audio channels for carrying stereo 24 channels of 16-bit PCM sampled audio. On receiving the audio frame from its upstream node via the downlink, each intermediate node inserts its audio traffic to the reserved time slot for itself, then relays again to next node through its physical layer(L1) transmission - repeating. After reaching the end node, the audio frame is loopbacked through the uplink. On repeating through the uplink, each node makes a copy of audio slot that node has to receive, then play the audio. When the audio transmission is completed, each node works as a normal L2 switch, thus data frames are switched during the remaining period. For supporting this L1/L2 hybrid switching capability, we insert a glue logic for parsing and multiplexing audio and data frames at MII(Media Independent Interface) between the physical and data link layers. The proposed scheme can provide a good delay performance and transmission efficiency than legacy Ethernet based audio distribution systems. For verifying the feasibility of the proposed L1/L2 hybrid switching scheme, we use OMNeT++ as a simulation tool with various parameters. From the simulation results, one can find that the proposed scheme can provide outstanding characteristics in terms of both jitter characteristic for audio traffic and transmission efficiency of data traffics.

**Keywords :** Audio over Ethernet(AoE), IEEE802.3 Residential Ethernet, Repeater, Switch

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 한국항공대학교 정보통신공학과

(Department of Information and Telecommunication Engineering, Korea Aerospace University)

\*\*\* 정회원, 전자부품연구원 SoC 플랫폼연구센터(SoC Platform Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

\*\*\*\* 정회원, (주)바이콤 연구소 (Research Center, Bicom)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

(NIPA-2009-(C1090-0902-0036))

접수일자:2009년8월18일, 수정완료일:2009년12월12일

## I. 서 론

최근 정보통신 기술의 발전과 더불어 기존의 기술들에 대한 디지털화 및 네트워크화가 가속되고 있다. 음성과 데이터 중심의 통신 네트워크는 방송 네트워크와 융합을 시도하면서 IPTV(Internet Protocol Television), VoIP(Voice over Internet Protocol)등의 서비스가 이미 시작되었으며 방송과 통신 융합 환경 하의 홈 네트워크를 비롯한 모든 종류의 네트워크에서 멀티미디어 데이터는 큰 비중을 차지하게 되었다. 근본적으로 버스트 모드인 기존의 데이터 통신에 반해서 멀티미디어 데이터의 통신은 주로 연속적인 데이터 스트림을 양방향 전송하며 지연 및 지터 성능에 의한 전송 서비스 품질(Quality of Service, QoS)에 민감한 특징을 가진다.

대부분의 근거리 통신망 구간에서 광범위하게 사용되고 있는 이더넷 기술은 충돌 검출을 하는 반송과 감지 다중 접근(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection, CSMA/CD)방식을 사용하여 전송 보장을 위한 특정한 정책 없이 최선의 노력을 하는 정도의 서비스 품질을 보장한다<sup>[1]</sup>. 이 방식은 지연 시간과 Capture Effect에 의한 불공평성으로 인해 항공기 등에서 사용되는 실시간 시스템이나 홈 네트워크에서 실시간 멀티미디어 스트림을 전송하기에는 무리가 따른다<sup>[2]</sup>. 현재 IEEE802.11 Wireless LAN, Wireless USB, IEEE1394 등의 기술이 널리 보급되고 있지만 마찬가지로 실시간 시스템이나 멀티미디어 스트림의 전송에서 사용자가 만족할 만한 정도의 전송 품질을 보장하기 쉽지 않다. 기본적으로 전송 품질을 향상시키는 방법은 두 가지 방법으로 실현되는데 이는 우선순위 할당 방식과 스케줄링 방식이다. 이미 첫 번째 방법을 기반으로 실시간 데이터에 우선순위를 제공하는 IEEE 802.1p방식이 제안되었지만 비동기 트래픽이 동기 트래픽의 간섭을 유발하여 시스템의 지터가 증가하는 문제가 발생할 수 있다. 다음으로 스케줄링 방식에 관련하여 IEEE802.3에서는 Residential Ethernet Study Group을 구성하여 슬롯 기반으로 슈퍼프레임(SuperFrame)이라 불리는 고정된 사이클 기간으로 분할하여 동기 트래픽과 비동기 트래픽을 구분하여 전송하는 동기식 이더넷 기술에 대한 표준화를 진행하고 있다<sup>[3~4]</sup>.

이더넷 기반 오디오 분배 기술(Audio over Ethernet, AoE)은 이더넷 기반 네트워크를 통하여 오디오를 전송하는 기술이다. 기존의 아날로그 오디오 전송 방식을

대체하는 디지털 오디오 전송은 현재까지도 지역의 미세한 음질 차이를 이유로 고급 청취자들에게 의면 받고 있지만 음악회나 공연장에서 두껍고 무거울 뿐 아니라 복잡하게 구성되어 있는 아날로그 케이블을 가늘고 간단한 디지털 케이블로 대체하면서 케이블의 설치 및 교체를 간단하게 하고 아날로그 전송 방식에 비해 전송 과정에서의 간섭을 줄일 수 있다. 또한 네트워크화된 오디오 전송 방식은 기존의 데이터 전송 선로를 이용하면서 고품질 오디오와 일반 데이터의 전송을 병행 가능하게 하고 기존의 방식에 비하여 선로 설치비용을 크게 절감할 수 있다. 고품질 오디오의 전송과 관련하여 IEEE802.11로 대표되는 무선 전송 방식은 데이터 전송 시에는 크게 문제되지 않았던 전송 중의 신호 누락과 데이터 재전송 문제로 인하여 오디오의 실시간 전송이 요구되는 환경에서 허용 가능하지 않은 큰 지연을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 이더넷을 기반으로 오디오 프레임을 물리 계층 리피터 방식으로 지연 없이 중계하고 데이터 프레임을 데이터 링크 계층 브리지 방식으로 중계할 수 있는 새로운 혼합형 중계방식을 제안하여 기존의 이더넷 기반 오디오 분배 방식과 비하여 낮은 지연과 엄격한 지터 성능을 가지는 이더넷 기반 오디오 분배 시스템을 제안하고 모의실험을 통해 시스템의 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 디지털 오디오 전송의 특징을 알아보고 충돌 검출을 하는 반송과 감지 다중 접근 방식보다 향상된 전송 품질을 제공하는 IEEE802.1p방식의 문제점 및 기존의 이더넷 기반 오디오 분배 방식에 대하여 알아본다. 제 III장에서는 제안하는 L1/L2 혼합형 중계 방식을 사용하는 이더넷 기반 오디오 분배 시스템에 대하여 상세히 설명한다. 제 IV장에서는 모의실험을 통하여 제안된 전송 방식의 지연 및 지터 성능을 분석하고 마지막으로 제 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 이더넷 기반 오디오 전송 기술의 개요

### 1. 디지털 오디오의 전송 품질 결정 요소

일반적으로 디지털 오디오의 전송 품질은 아래와 같은 요소에 의존하게 된다<sup>[5]</sup>.

\* 전송되는 디지털 오디오의 품질

- \* 오디오 코덱의 사용 여부
- \* 운영체제(OS)에 의한 소프트웨어 스케줄링
- \* 네트워크에서의 전송 지연 및 지터
- \* 네트워크에서의 패킷 손실

본 논문에서는 제안하는 L1/L2 혼합형 중계 방식을 적용한 이더넷 기반 오디오 분배 시스템의 성능 분석을 위해 네트워크에서의 전송 지연 및 지터, 그리고 패킷 손실에 집중하도록 한다.

### 2. IEEE802.1p 전송 방식의 문제점

IEEE801.p방식은 실시간 전송을 위한 데이터에 우선순위를 제공함으로써 충돌 검출을 하는 반송과 감지 다중 접근 방식보다 나은 전송 품질을 제공하지만 고 품질 오디오의 실시간 전송을 비롯한 홈 네트워크나 산업용 네트워크에서 요구되는 엄격한 지연과 지터 요구 조건을 만족하기에는 무리가 있다.

#### 가. IEEE802.1p의 버퍼 스케줄링 방식

IEEE802.1p에서 프레임의 우선순위는 IEEE802.1Q 프레임 형식에 포함되어 있는 4바이트의 태그에서 3비트(8단계)를 사용하여 나타내며 다른 종류의 데이터 프레임에 비선점형 우선순위 서비스를 제공하기 위하여 그림 1과 같은 버퍼 스케줄러를 사용한다.

주기적으로 발생하는 프레임은 비주기적으로 발생하는 프레임에 비해 높은 우선순위를 할당하며 도착하는 프레임을 우선순위에 맞게 각자 다른 큐에 넣고 미리 설정된 종료 시간이 가까운 프레임을 우선적으로 처리하는 EDF(Earliest Deadline First)방식으로 전송한다.

결과적으로 높은 우선순위를 갖는 프레임은 낮은 우선순위를 갖는 프레임보다 먼저 서비스되어 높은 우선순위를 갖는 프레임의 지연과 손실이 줄게 된다.

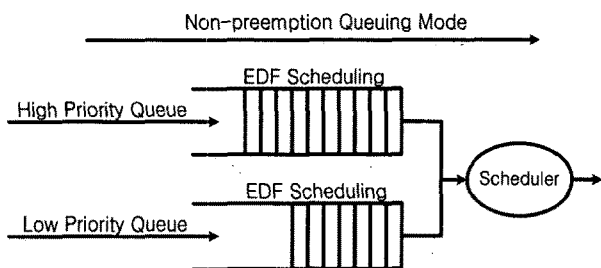


그림 1. IEEE802.1p의 우선순위 처리 방식  
Fig. 1. Priority Queuing of IEEE802.1p.

#### 나. IEEE802.1p의 지연 및 지터 증가 문제

IEEE802.1p의 비선점형 버퍼 스케줄링 방식에서 비동기 트래픽의 전송은 특정 예약된 대역을 가지지 않는 동기 트래픽에 지연을 발생시킬 수 있다. 또한 비동기 트래픽의 증가는 동기 트래픽의 동기를 방해하는 요소로 작용하여 예측 가능하지 않은 지터를 발생시킨다.

특히 그림 2와 같이 프레임이 다단의 스위치를 경유하는 경우에 비동기 트래픽에 의한 동기 트래픽의 지연 및 예측 가능하지 않은 지터는 더욱 증가하게 된다.

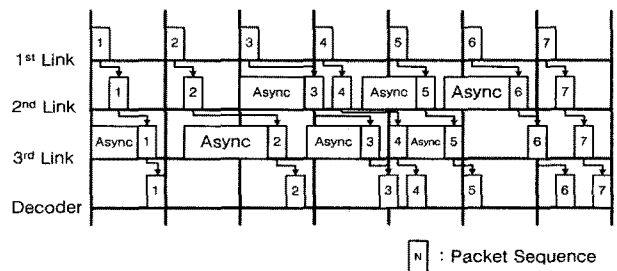


그림 2. 다단의 스위치를 경유할 때의 지터의 증가  
Fig. 2. Increasing Jitter through the multi-level switches.

### 3. 이더넷 기반 오디오 분배 기술의 소개

이더넷 기반 오디오 분배 기술(Audio over Ethernet, AoE)은 이더넷 기반의 네트워크를 통하여 오디오를 전송하는 기술로 저렴하며 가장 보편적인 이더넷 기술을 사용하여 기존의 두꺼운 오디오 케이블을 대체하면서도 일정 수준 이상의 전송 품질을 제공할 수 있다. 현재 이슈가 되고 있는 IP기반 음성 전송(Voice over IP, VoIP) 기술과 비교하여 AoE는 사람의 음성보다 고 품질의 오디오를 비 압축방식으로 전송하면서도 전송 지연이 적고 프레임의 손실이 거의 없다. 3계층 IP(Internet Protocol)를 사용하지 않는 AoE기술은 생성된 데이터 프레임을 이더넷을 통해 전송함으로써 오버헤드를 줄이면서 전송 효율을 높일 수 있으며 항공기, 공장 자동화 등의 실시간 시스템에 엄격한 실시간 성능을 제공할 수 있다. 상용화된 이더넷 기반의 고 품질 오디오 분배 기술은 크게 물리 계층 기반 분배 방식과 데이터 링크 계층 기반 분배 방식으로 구분되며 모두 오디오의 실시간 전송에 대한 지연 및 지터 성능, 대역사용 효율에 문제가 있다.

#### 가. 물리 계층 기반 오디오 분배 방식

(1) 물리 계층 기반 오디오 분배의 특징

물리 계층 기반의 오디오 분배 방식은 데이터 링크 계층 기반으로 하는 기존 이더넷 스위칭 방식과 다르게 오디오 프레임을 물리 계층 기반으로 리피팅하는 방식으로 각 중계 노드 간의 전달 지연 시간이 크지 않아서 실시간 오디오 전송을 가능하게 하지만 데이터 프레임의 전송의 경우, 모든 중계 노드를 경유하여 전달되어야 하기 때문에 전송 대역의 사용 효율이 떨어지는 단점이 있다.

(2) 이더사운드의 오디오 분배 방식

상용화된 이더넷 기반 오디오 분배 기술 중에 앞서 설명한 방식을 사용하는 가장 대표적인 시스템은 Digigram사의 이더사운드(EtherSound)이다<sup>[6]</sup>. 이더사운드는 48kHz의 64채널에서 24비트 오디오를 전송하며 그림 3과 같이 네트워크 클럭을 생성하는 마스터 노드를 시작으로 종단 노드까지 도착한 오디오 프레임이 반대 방향으로 재전송되면서 128채널의 양방향 전송을 가능하게 한다. 점 대 점 전송에서 낮은 지연 성능을 보이는 이 방식은 중계 노드들이 직렬로 연결된 데이지 체인(Daisy Chain)구조의 네트워크에서 가장 우수한 성능을 가진다. 이더사운드 네트워크에서 지연 성능은 기존 이더넷의 충돌 검출을 하는 반송과 감지 다중 접근 방식과는 다르게 안정적이고 결정적이다.

이더사운드는 48kHz의 64채널에서 24비트 오디오 데이터를 전송하는데 125usec의 지연 시간을 갖는다. 그리고 지연 시간은 데이지 체인 구조의 네트워크에서 중계 노드가 추가될 때마다 1.5usec가 더해진다<sup>[6]</sup>.

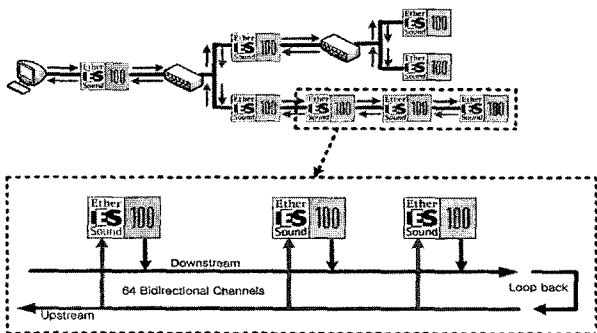


그림 3. 리피터 기반의 전송방식을 사용하는 이더사운드

Fig. 3. EtherSound based on repeating scheme.

나. 데이터 링크 계층 기반 오디오 분배 방식

(1) 데이터 링크 계층 기반 오디오 분배의 특징

데이터 링크 계층 기반 오디오 분배 방식은 디지털 오디오 프레임을 기존의 이더넷 스위칭 방식으로 전달한다. 이 방식은 프레임의 목적지가 유효하여 물리 계층 기반의 전송 방식에 비해 전송 대역의 사용 효율이 높지만 전송 우선순위가 부여 되어야 할 오디오 프레임의 중계 시에 지연 시간이 클 수 있으며 데이터 프레임과 오디오 프레임 간의 간섭으로 예측 불가능한 지터가 발생할 수 있다.

(2) 코브라넷의 오디오 분배 방식

상용화된 이더넷 기반 오디오 분배 기술 중에 데이터 링크 계층 기반 브리징 방식을 사용하는 가장 대표적인 시스템은 Peak Audio사에서 개발한 코브라넷(CobraNet)이다.

코브라넷은 그림 4와 같이 싸이클 기반으로 대역을 예약하여 48kHz의 64채널에서 24비트 오디오와 데이터를 전송한다. 그리고 두 개의 네트워크를 구성하여 같은 오디오를 전송하는 방식으로 네트워크의 내고장성을 지원하며 고품질 오디오 트래픽이 기존의 네트워크 기반에서 다른 이더넷 트래픽과 공존할 수 있는 것이 장점이다. 컨벤션 홀, 경기장, 공항 등의 큰 규모의 장소에서 디지털 오디오 분배 장치로 주로 사용되는 이 방식은 기존 오디오 장치에 비해 배선 비용을 절감할 수 있으며 프레임의 전송 효율이 높지만 중계 과정에서 거치게 되는 스위치의 존재로 인해 전송되는 오디오에 대한 지연 시간 및 지터 성능은 물리 계층 기반 전송 방식에 비해 저하된다. 코브라넷의 전송 지연 시간은 1.33msec에서 5.55msec로 사람이 느끼기에는 작은 지연이지만 큰 규모의 장소에서 오디오를 실시간으로 전송하기에는 무리가 따를 수 있다<sup>[7]</sup>.

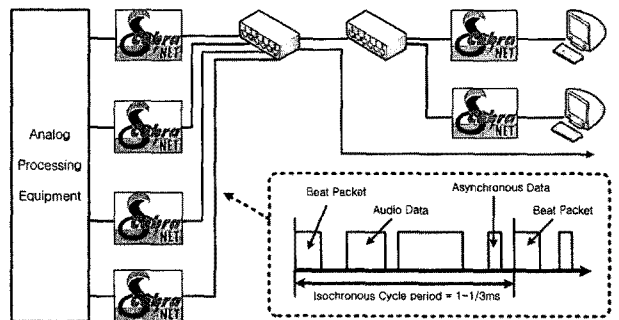


그림 4. 브리징 기반의 전송방식을 사용하는 코브라넷

Fig. 4. CobraNet based on bridging scheme.

### III. L1/L2 혼합형 전송 방법을 적용한 이더넷 기반 고품질 비압축 오디오 분배 시스템

본 논문에서는 오디오 프레임 전송의 낮은 지연 및 지터를 보장하고 데이터 프레임의 전송 시에 대역사용 효율을 높이기 위해 L1/L2 혼합형 중계 방법을 적용한 이더넷 기반 오디오 분배 시스템을 제안한다.

#### 1. 슈퍼프레임 구조

그림 5는 제안하는 오디오 분배 시스템의 슈퍼프레임 구조이다. 슈퍼프레임은 오디오 프레임의 전송을 위한 동기 구간과 데이터 프레임의 전송을 위한 비동기 구간으로 나눌 수 있으며 동기 구간에는 스테레오 24채널에서 PCM(Pulse Code Modulation)방식으로 샘플링된 16비트 오디오를 수납할 수 있는 오디오 프레임이 마스터 노드에 의해 125us의 주기로 생성된다. 생성된 오디오 프레임은 해당 슈퍼프레임 구간의 사이클 정보와 오디오 트래픽의 수납을 위해 단위 당 4바이트로 이루어진 타임 슬롯을 포함한다. 이때, 오디오 프레임에 포함되는 사이클 정보에는 모든 중계 노드들의 동기를 맞추고 노드 스스로 데이터 프레임의 전송 시점을 알 수 있도록 하는 타임 슬롯의 개수가 수납된다. 동기 구간에서 오디오 프레임의 전송을 마친 후에는 데이터 프레임과의 간섭을 방지하기 위해 프레임 간의 간격(Inter Frame Gap, IFG)을 할당하고 남은 기간 동안 데이터 프레임을 전송한다. 슈퍼프레임 내에서 오디오 트래픽을 위한 대역을 예약함으로써 높은 우선순위를 보장 받아야 하는 오디오의 전송은 전송 중의 손실이 없고 데이터 프레임의 전송으로부터 영향을 받지 않는 것을 보장할 수 있다.

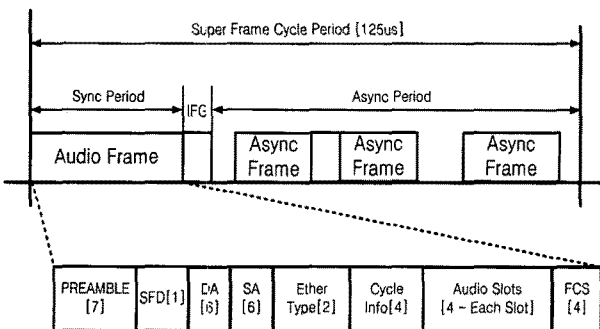


그림 5. 제안하는 방식의 슈퍼프레임의 구성  
Fig. 5. Format of Superframe in the suggested scheme.

#### 2. L1/L2 혼합형 중계 방식

제안하는 오디오 분배 시스템에서는 오디오 프레임의 전송이 데이터 프레임의 전송에 영향을 받지 않을 뿐 아니라 오디오의 전송에서 낮은 지연 및 지터 성능을 보장하기 위해 L1/L2 혼합형 중계 방식을 적용한다. 적용되는 혼합형 중계 방식은 전송하는 프레임의 우선순위에 따라 물리 계층 리피터 중계 방식과 데이터 링크 계층 브리지 중계 방식을 혼용하는 형태로 본 논문에서는 리피치(Repitch)라고 명명하기로 한다.

리피치 중계 시스템은 마스터 노드와 다수의 중계 노드로 구분되며 노드들은 상호간에 상향 링크 및 하향 링크를 통하여 데이지 체인 네트워크 형태로 연결된다.

#### 가. 리피치 노드의 구조

제안하는 오디오 분배 방식에서 리피치 중계 노드의 구조는 그림 6과 같다. 리피치 시스템은 물리 계층과 데이터 링크 계층 모듈을 포함하며 L1/L2 혼합형 중계 방식을 지원하기 위해서 각 중계 노드 입력부의 물리 계층과 데이터 링크 계층 간에 존재하는 MII(Media Independent Interface)부분에 오디오 프레임과 데이터 프레임을 구분하는 글루로직(Glue Logic)이 추가되었다. 또한 중계 노드의 물리 계층 모듈에서는 프레임을 폐기하고 루프백 시키기 위한 부분이 포함되어 마스터 노드와 종단 노드에 의해 사용된다.

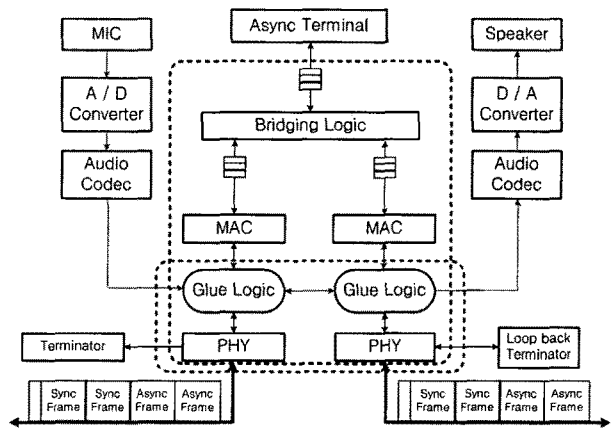


그림 6. 낮은 지연 및 지터 성능을 위한 리피터 및 브리지 혼합형 중계 노드  
Fig. 6. Repeater-Bridge Hybrid Switching Node for low latency and jitter performance.

나. 오디오와 데이터 프레임 구분 : 글루로직의 기능  
L1/L2 혼합형 중계 방식에서 추가된 글루로직은 오

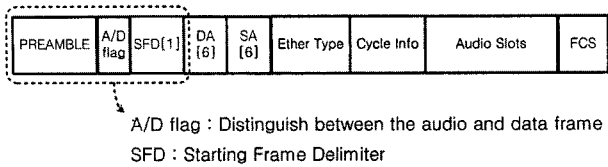


그림 7. 오디오와 데이터 프레임의 구분법  
 Fig. 7. Method to distinguish between the audio and data.

디오 프레임을 구성하는 8바이트의 프리앰블 내에서 그림 7과 같이 SFD(Starting Frame Delimiter)영역의 앞에 위치하는 1바이트 영역의 일부를 사용하여 오디오 프레임과 데이터 프레임을 구분한다.

그밖에도 글루로직은 마스터 노드의 오디오 프레임 생성기로부터 오디오 프레임을 수신하여 오디오 프레임과 데이터 프레임을 구분하여 중계시키며 상향 링크를 통하여 루프백된 오디오 프레임에서 중계 노드에 해당되는 슬롯에 수납된 오디오 바이트 열을 복사하여 코덱으로 전송하고 오디오 프레임 내의 오디오 슬롯의 개수 정보를 사용하여 데이터 프레임의 송신 가능 시점을 제어하는 역할을 한다.

다. 동기 구간에서의 중계

L1/L2 혼합형 중계 방식에서 슈퍼프레임의 동기 구간은 오디오 프레임의 전송을 위해 사용된다. 마스터 노드와 다수의 중계 노드들이 상호간에 상향 링크 및 하향 링크를 통하여 데이터 체인 네트워크 형태로 연결된 분배 시스템 환경에서 마스터 노드는 125usec의 주기를 가지고 스테레오 24채널에서 PCM 샘플링된 16비트 오디오 프레임을 생성하여 하향 링크를 통하여 전송한다. 마스터 노드로부터 오디오 프레임을 수신한 중계 노드들은 해당 노드에 할당된 오디오 채널에 자신의 오디오 트래픽을 수납하고 다음의 하향 중계 노드로 물리 계층 수준(L1)에서 리피팅한다. 망의 종단 노드는 모든 중계 노드에 의해 오디오 트래픽이 수납된 오디오 프레임을 수신하고 상향 노드로 루프백시켜 최종적으로 마스터 노드에 도달하도록 한다. 마스터 노드로 오디오 프레임이 루프백되는 과정에서 모든 중계 노드들은 자신이 수신해야 하는 채널에 수납된 오디오 트래픽을 복사하고 코덱으로 전달하여 오디오를 재생한다.

이와 같은 오디오 분배 방식은 물리 계층 수준(L1)의 전송을 통하여 낮은 지연 및 엄격한 지터 성능을 기대할 수 있지만 오디오 프레임이 목적지 노드와 상관없이 망 전체로 전송되어 대역 효율 면에서는 불리한 면이

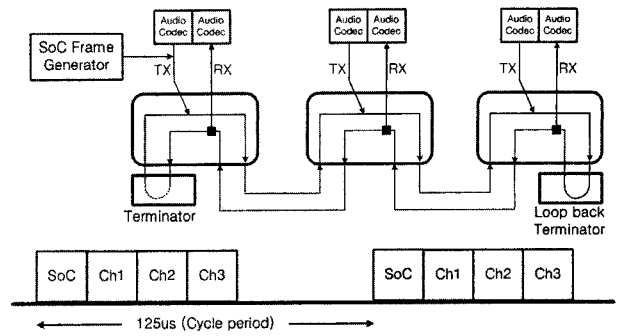


그림 8. 동기 구간에서의 오디오 프레임 전송  
 Fig. 8. Audio frame transmission in synchronous period.

존재한다. 하지만 현재 방송과 통신 융합 환경하의 네트워크에서 논의되는 대부분의 오디오 트래픽은 양방향 방송형 특징을 가지므로 대역 효율보다는 다수의 중계 노드를 통하여 자연스럽게 방송 중계될 수 있는 특성이 더욱 중요시 된다고 할 수 있다. 그림 8은 앞서 설명한 동기 구간에서 오디오 프레임의 전송을 보여준다.

라. 비동기 구간에서의 중계

동기 구간에서 오디오 프레임의 전송이 완료되면 전송될 데이터 프레임과의 간섭을 방지하기 위한 프레임 간의 간격(Inter Frame Gap, IFG)을 기다린 후에 비동기 구간이 시작된다. 비동기 구간에서 글루로직에 의해 판별된 데이터 프레임은 3포트 이더넷 브리징 모듈로 전달되어 기본 브리징 방식에 의해 데이터 링크 계층 수준으로 전송된다. 따라서 데이터 프레임의 전송은 오디오 프레임의 중계 방식과 같이 망 전체로 중계되는 것이 아니라 목적지 장치까지만 중계되어 지연 및 지터가 증가할 수 있지만 대역사용 효율을 향상시킬 수 있

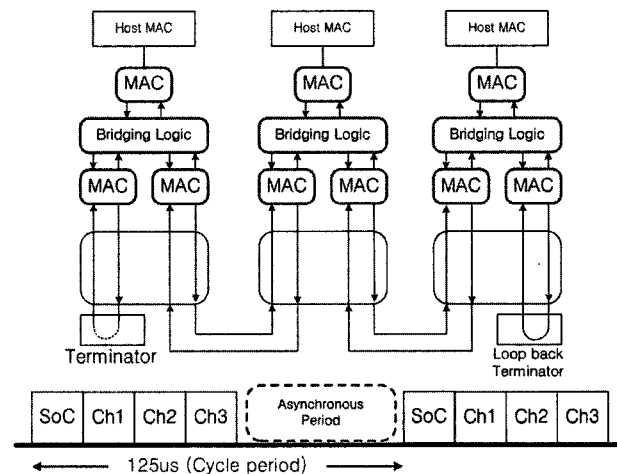


그림 9. 비동기 구간에서의 데이터 프레임 전송  
 Fig. 9. Data frame transmission in asynchronous period.

다. 그림 9는 앞서 설명한 비동기 구간에서 데이터 프레임의 전송과정을 보여준다.

### IV. 모의실험 및 성능 분석

이 장에서는 L1/L2 혼합형 중계 방법을 적용한 이더넷 기반 오디오 분배 시스템의 성능을 분석하기 위해 네트워크 시뮬레이터인 OMNeT++를 사용한 모의실험을 수행하고 다양한 파라미터를 사용하여 성능을 분석하였다<sup>[8]</sup>.

모의실험에서 사용한 네트워크 모델은 그림 10과 같이 8개의 L1/L2 혼합형 중계 노드가 직렬로 연결된 데이지 체인(Daisy Chain)형태이다. 그리고 그림 11은 각 중계 노드의 세부 구조를 나타낸다. 동기구간이 시작되고 오디오 프레임은 좌측의 마스터 노드(N1)가 포함하는 오디오 생성기(SyncAPP)로부터 발생되어 종단 노

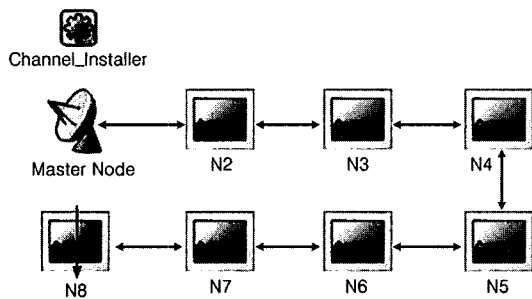


그림 10. 모의실험에 적용되는 네트워크 모델  
Fig. 10. Network Model.

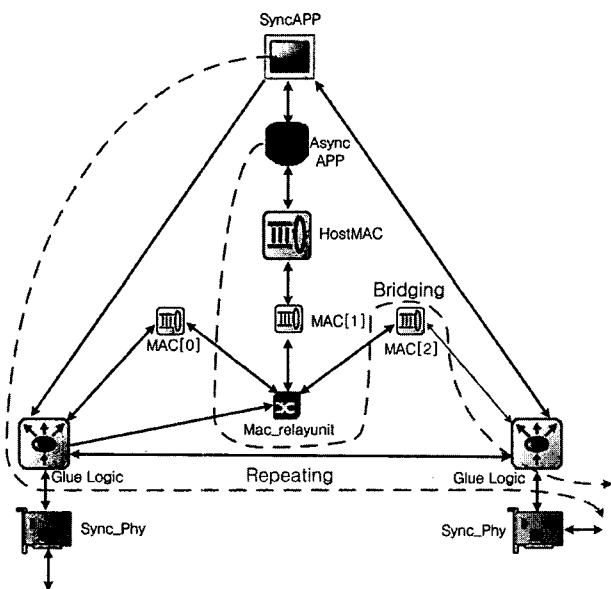


그림 11. 단위 중계 노드의 세부 구조  
Fig. 11. Each relay node structure in detail.

드까지 물리 계층 수준(L1)으로 전달되고 종단 노드에 전달된 오디오 프레임은 루프백되어 다시 마스터 노드로 전달된다. 이 과정에서 글루로직(Glue Logic)은 수신된 프레임을 오디오와 데이터로 구분하여 각각 물리 계층 수준(L1) 및 데이터 링크 계층 수준(L2)으로 전송하게 하고 상향 링크를 통하여 전송되는 오디오 프레임에서 오디오 바이트 열을 복사하여 오디오 코덱으로 전달한다.

모의실험에 사용되는 파라미터는 표 1과 같으며, 슈퍼프레임 내에서 동기 구간의 비율을 세 단계로 변경하면서 데이터 트래픽 부하의 증가에 따른 오디오 프레임 및 데이터 프레임의 지연 및 지터 성능을 측정하였다.

그림 12은 트래픽의 부하에 따른 오디오 트래픽과 데이터 트래픽의 평균 지연 성능을 비교한 것이다. 데이터 트래픽의 경우 트래픽 부하가 클수록 평균 전송 지연 시간이 급격하게 증가한다. 또한 지연 시간의 증가는 슈퍼프레임 내의 동기 구간의 비율이 높을수록 더욱 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다. 반면에 오디오 트래

표 1. 모의실험 설정 값  
Table 1. Simulation Parameter.

| Parameter                | Value         |
|--------------------------|---------------|
| Bandwidth                | 100Mbps       |
| Maximum data queue size  | 100           |
| Length of superframe     | 125usec       |
| Processing delay         | 5usec         |
| Rate of sync period [Rs] | 25%, 50%, 75% |

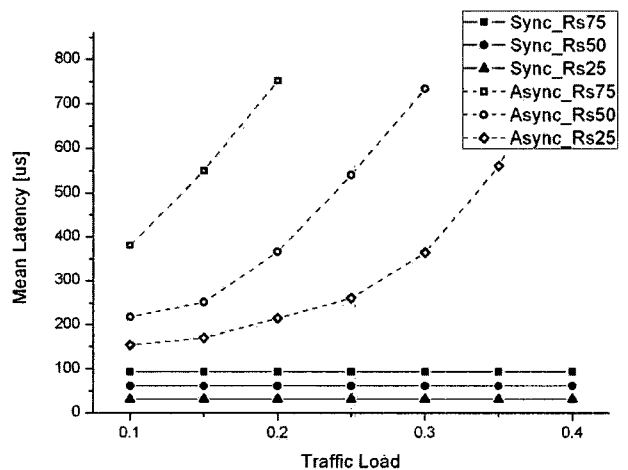


그림 12. 트래픽 부하에 따른 평균 지연시간 비교  
Fig. 12. Comparison of average Latency by increasing traffic load in asynchronous period.

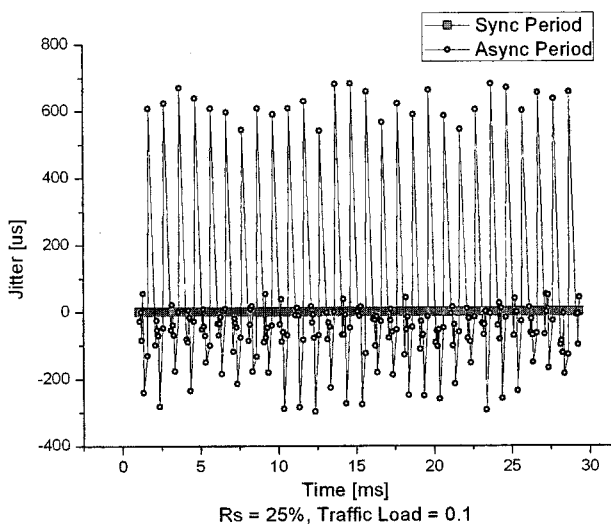


그림 13. 지터 성능 비교 [Rs=25%, Load=0.1]

Fig. 13. Comparison of jitter performance when the rate of synchronous period is 25% in the super frame and traffic load is 0.1 in asynchronous period.

픽의 경우에는 마찬가지로 동기 구간의 비율이 높을수록 평균 지연 시간이 증가하지만 최대 100usec를 넘지 않아서 오디오 트래픽 전송의 실시간성을 만족시키며 평균 지연 시간의 변화를 고려할 때 매우 안정되고 엄격한 지터 성능을 가지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 13은 슈퍼프레임 내의 동기 구간의 비율이 25%이며 비동기 구간에서 트래픽의 부하를 0.1만큼 가한 상황에서 오디오 트래픽과 데이터 트래픽의 지터 성능을 비교한 것이다. 그림에서 보이는 것처럼 오디오 트래픽의 지터는 데이터 트래픽의 지터 성능에 비하여 매우 안정된 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

모의실험을 통해 얻은 결과를 토대로 L1/ L2 혼합형 오디오 분배 방식의 성능을 평가해 보면 다음과 같다. 제안하는 방식은 슈퍼프레임을 기반으로 동기 구간과 비동기 구간을 구분하여 오디오 프레임에 대한 대역 예약함으로써 오디오 프레임의 손실이 없으며 최대 7홉을 거치면서도 평균 지연은 100usec를 넘지 않기 때문에 디지털/아날로그 변환, 아날로그/디지털 변환 시에 발생하는 지연 등의 모든 지연 시간을 고려하여도 고급 오디오 청취자가 듣기에도 무리가 없을 정도의 지연 성능 및 안정된 지터 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고품질 오디오 트래픽 분배의 실시간

성과 낮은 지연 및 지터를 보장하기 위한 L1/L2 혼합형 중계 방식을 사용하는 이더넷 기반 오디오 분배 시스템을 제안하였다. 모의실험 결과, 제안하는 분배 방식은 높은 우선순위가 부여된 오디오 트래픽에 대하여 낮은 전송 지연과 안정된 지터 성능을 가짐으로 실시간 전송 시스템에 요구되는 실시간성을 제공할 뿐만 아니라 데이터 트래픽을 효율적으로 전송할 수 있어 기존 이더넷 기반 오디오 분배 기술에 비하여 장점이 있다. 비동기 구간에서 낮은 우선순위를 가지는 데이터 트래픽은 상대적으로 높은 지연시간을 가지지만 데이터 프레임의 분할 및 재조립을 적용하여 이를 해결할 수 있다. 제안하는 시스템은 대규모 회의장, 콘서트 홀, 종합 경기장 등의 고품질 오디오 분배 시스템으로 사용이 가능하다. 또한 높은 데이터 압축률을 가지는 H.264와 같은 비디오 코덱의 적용을 고려하면 고화질 비디오(High Definition Video, HD Video)의 실시간 분배가 가능해지고 나아가 고품질 멀티미디어 스트림의 실시간 전송에 사용될 수 있다. 향후 비동기 구간에서 데이터 프레임 분할 및 재조립의 적용과 제안하는 전송 시스템의 하드웨어 구현을 병행하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD), IEEE Std 802.3-1990 Edition(ISO/DIS 8802-3), IEEE, New York, 1990.
- [2] K.K.Ramakrishnan and H.Yang, "The Ethernet Capture effect : analysis and solution," in Proc. of 19th Conf. on Local Computer Networks, pp. 228-240, Minneapolis, MN USA, October 1994.
- [3] J.Chen, Z.Wang, and Y.Sun, "Switched real-time industrial Ethernet with mixed scheduling policy," presented at The 28th Annual Conference of IEEE Industrial Electronic Society, Sevilla, Spain, 2002.
- [4] IEEE 802.3 Residential Ethernet Study Group, [http://www.ieee802.org/3/re\\_study](http://www.ieee802.org/3/re_study)
- [5] Ajay Bakre, "Intel VoIP over WLAN architecture," in Proc. of 2nd Annual international workshop on wireless internet, pp.22-es, Boston, Massachusetts, August 2006.
- [6] EtherSound, "EtherSound Overview Rev.1.5c," [http://www.zapaudio.com/distribution/marques/ethersound/EtherSound\\_overview.pdf](http://www.zapaudio.com/distribution/marques/ethersound/EtherSound_overview.pdf)
- [7] Cirrus Logic, "CobraNet Programmer's Reference



version 2.5," [http://www.cirrus.com/en/pubs/manual/CobraNet\\_Programmer\\_Manual\\_PM25.pdf](http://www.cirrus.com/en/pubs/manual/CobraNet_Programmer_Manual_PM25.pdf)

[8] OMNeT++, <http://www.omnetpp.org>

[9] Seok-Kyu Kweon, Shin.K.G, and Zin Zheng, "Statistical real-time communication over Ethernet for manufacturing automation systems," in Proc. The 5th IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium, pp. 192-202, Vancouver, Canada, June 1999.

[10] Chafe.C, Wilson.S, Leistikow.R, Chisholm.D and Scavone.G, "A simplified approach to high-quality music and sound over IP," in Proc. of the COST-G6 Conf. on Digital Audio Effects, pp. 159-164, Verona, Italy, December 2000.

[11] Alessandro Aldini, Marco Bernardo, Roberto Gorrieri and Marco Rocchetti, "Comparing the QoS of Internet audio mechanisms via formal methods," ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation(TOMACS), pp. 1-42, January 2001.

[11] ITU-T, "Recommendation G.114 - One-way transmission time," 2003.

[12] Elias Keshishogou, Nathan Yeakel, Alexei Beliaey, and Shri Arora, "Synchronous Ethernet Specification Draft v0.39," November 2003.

[13] P.Pedreiras, R.Leite, and L.Almeida, "Characterizing the real-time behavior of prioritized switched Ethernet," in Proc. of 2nd International Workshop on Real-Time LANs in the internet age, Oporto, Portugal, 2003.

[14] Qizhi Zhang, Weidong Zhang, "Priority scheduling in switched industrial Ethernet," in Proc. of 2005 American Control Conference, Portland, OR USA, June 2005.

[15] Maxwell Silva Carmo, Jorge Sa Silva, and Edmundo Monteiro, "EuQoS approach for resource allocation in ethernet networks," in International Journal of Network Management of John Wiley&Sons. Inc, September 2007.

[16] Roger Zimmermann, Ke Liang, "Spatialized audio streaming for networked virtual environments," in Proc. of the 16th ACM international conference on Multimedia, pp. 299-308, Vancouver, Canada, October 2008.

저 자 소 개



남 위 정(학생회원)  
 2009년 한국항공대학교 정보통신공학과 학사 졸업  
 2009년~현재 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정  
 <주관심분야 : 컴퓨터통신망, 네트워크보안, NetFPGA, Future Internet >



윤 종 호(평생회원)  
 1984년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업  
 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업  
 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업  
 1991년~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수  
 <주관심분야 : 유무선통신망 설계 및 성능분석>



박 부 식(정회원)  
 1999년 한국항공대학교 정보통신공학과 학사 졸업  
 2001년 한국항공대학교 정보통신공학과 석사 졸업  
 2007년~현재 한국항공대학교 정보통신공학과 박사과정  
 2002년~현재 전자부품연구원 SoC플랫폼연구센터 선임연구원  
 <주관심분야 : AFDX, In-Vehicle Network, DSRC>



조 남 홍(정회원)  
 1991년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업  
 1993년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업  
 1998년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업  
 1998년~2002년 (주)하이닉스 시스템 LSI 연구소  
 2002년~현재 (주)바이콤 연구소 기술이사  
 <주관심분야 : 차세대 방송기술, 영상 및 음향 신호 처리>