

LAN에서 시간에 민감한 트래픽을 위한 시간 동기화 기법

정회원 조 정 현*

A Synchronization Scheme for Time-Sensitive Traffics in Bridged LANs

Jeong-hyun Cho* *Regular Member*

요 약

최근 홈 네트워크 기술에 대한 관심이 높아지면서 가정 내 장치들의 통신 방법에 대한 표준이 절실히 요구되고 있다. IEEE 802.1 AVB(Audio/Video Bridging)는 이더넷을 이용해 이러한 가정 내 장치들 사이에 시간에 민감한 데이터들을 전송하는 방법을 규정하고 있다. 하지만 IEEE 802.1AVB는 IEEE 1588 PTP(Precision Time Protocol)와 같이 시간을 동기화 하기위해 다수의 컨트롤 메시지를 이용하고 있어 복잡한 처리과정과 이로 인한 전송 지연의 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 단일 타임싱크 프레임을 이용하여 시간을 동기화하는 방법을 제안한다. 단일 타임싱크 프레임 이용한 방법은 여러 메시지 형태의 프레임을 이용하지 않고 단일 프레임을 이용하여 모든 동작이 가능한 범위의 동기식 이더넷의 전자기기를 사이에서의 통신에 적합한 처리 복잡도와 낮은 전송 지연을 제공한다. 나아가 단일 타임싱크 프레임을 이용한 시간 동기 방법에 시간에 민감한 데이터 전송을 보장하는 대역폭 예약 방법 및 전송 방법에 대한 연구가 연계되어 진행할 것을 제안한다.

Key Words : Residential Ethernet(Synchronous Ethernet), IEEE 802.1AVB, Home Network, Timing and Synchronization, QoS guarantee of time-sensitive application

ABSTRACT

Today, A matter of concern of home network technology increase. The standard of communication between home network devices are required. IEEE 802.1 AVB(Audio/Video Bridging) specifies transmission method for time-sensitive data between these devices using Ethernet in bridged local area networks. IEEE 802.1 AVB and IEEE 1588 PTP(Precision Time Protocol) have various message type for grandmaster selection and synchronize the devices. These messages bring on complexity protocol. We propose a method that uses Single TimeSync frame in order to the problem. Our proposal is appropriate process complexity and low transmission delay for home network by using the TimeSync frame. Furthermore, after all devices are adjusted to the single TimeSync frame, a resource reservation, a forwarding and queuing rule are needed for a time-sensitive application.

I. 서론

IT기술의 급속한 발달과 초고속망을 통한 인터넷 보급에 힘입어, 기업이나 공공기관의 사물 중심으로

구축되던 네트워크 환경이 가정 내의 디지털 전자 기기로 확산되어 가면서 홈 네트워크 산업과 관련 기기 시장에 대한 관심이 높아지고 있다. 가정 내의 디지털 전자기기들 간의 통신을 위한 방법으로는

※ 이 연구는 2008학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 영남이공대학 모바일과(petercho@ync.ac.kr)

논문번호 : 08036-0527, 접수일자 : 2008년 5월 27일

이미 널리 사용되고 있는 이더넷 기술이 각광을 받고 있다. 최근의 소비자전 벤더들은 이더넷을 임베디드 시킨 셋톱 박스, PVR (Personal Video Recorder), DVD 플레이어, 비디오 게임 콘솔, 디지털 오디오 수신 등을 시장에 내 놓고 있다[1]. 동기식 이더넷 (802.3ah Residential Ethernet 또는 802.1 Audio/Video Bridging)은 그림 1과 같이 가정 내 혹은 사무실 내에서 이더넷을 기반으로 하여 앞서 언급한 장치들 사이에 정확한 동기를 맞추고 시간에 민감한 트래픽들의 저지연성을 보장하면서 통신하는 기술이다[2]. 동기식 이더넷은 현재 IEEE 802.1 Audio/Video Bridging (AVB) TG에서 표준화 활동을 진행하고 있다. IEEE 802.1 AVB TG는 크게 802.1AS, 802.1Qat 그리고 802.1Qav의 세 가지 범주로 나누어져 표준화 활동을 진행하고 있으며, 이 중 802.1AS는 실시간성 애플리케이션을 위하여 시간을 동기화하는 방법에 대한 표준을 진행하고 있다[3]. 실시간 애플리케이션들 사이의 통신을 위해서는 최우선적으로 고려되어야 하는 것이 시간을 동기화 시키는 방법이다. 시간 동기를 위해 802.1AS에서는 실시간 애플리케이션들과 이들을 연결시켜주는 브리지 장치들 사이에서 그랜드마스터를 결정하는 방법과 결정된 그랜드마스터에 다른 장치들을 동기화 시키는 방법을 다루고 있다[4]. 802.1AS는 그랜드마스터와 시간 동기 방법으로 IEEE 1588의 동기 방식의 개념을 이용한다.

IEEE 1588은 통신 단말 장치들 사이에 전송 지연을 고려한 정확한 시간 동기 프로토콜이다(PTP: Precision Time Protocol)[5]. IEEE 802.1 AS는 IEEE 1588의 개념을 이용하되 가정 내에서 이루어지는 통신을 위해 IEEE 1588 보다 간단한 통신 프로토콜을 개발하고 있다. 하지만 가정 내에서의 통신이라는 관점에서 볼 때 IEEE 1588 메시지 형태의 통신은 과도한 메시지를 발생하여 많은 컨트롤

패킷을 생성하므로 불필요한 오버헤드가 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 현재 IEEE 802.1AS에서 제안 중에 있는 여러 메시지 형식의 프로토콜의 단점을 보완하고 컨트롤 패킷들의 오버헤드를 줄이기 위한 방법으로 단일 타임싱크 프레임을 이용한 그랜드마스터를 결정하는 방법을 제안한다. 또한 같은 프레임 이용하여 그랜드마스터를 결정한 이후 실시간 애플리케이션 및 브리지 사이에 시간을 동기화 하는 방법을 제안한다. 실험에서는 OPNET 시뮬레이터를 이용하여 기존의 방법들과 성능을 비교한다.

이어지는 II장에서는 실시간 전송을 위해 시간을 동기화 하는 방법인 NTP (Network Time Protocol), IEEE 1588 및 IEEE 802.1AS의 기술을 다루고 III 장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 단일 타임싱크 프레임 이용 그랜드마스터 결정 방법과 시간 동기 방법을 다룬다. IV장에서는 제안된 방법을 이용한 시간 동기 방법과 NTP, IEEE 1588 및 IEEE 802.1AS의 실험 결과를 비교하고 마지막 장에서 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해 소개한다.

II. 네트워크 시간 동기를 위한 방법들

IEEE 802.3 이더넷은 프레임의 프리앰블을 이용하여 프레임들의 동기를 맞추었다. 하지만 이는 중간 장치들을 거치면서 발생하게 되는 지터에 대한 영향을 고려할 수 없다[6]. 따라서 시간에 민감한 트래픽을 위해 정확한 시간 동기를 보장해 줄 수 없다. 지터란 일정 구간동안에 디지털 신호의 짧은 구간동안에 축적되지 않은 변화량이다. 지터는 여러 장치를 거치면서 양이 누적되어 증가하는 경향을 보인다. 이러한 관계는 다음 수식 (1)로 정의될 수 있다. MTIE(Maximum Time Interval Error)는 관측 구간 동안에 지터가 가장 많이 변한 변화치를 기록한 값이다.

$$MTIE(n\tau_0) = \max_{1 \leq k \leq N-n} (\max_{k \leq i \leq k+n} x(i) - \min_{k \leq i \leq k+n} x(i)) \quad (1)$$

$x(i)$ 는 전체 N개의 측정 샘플 중 i^{th} 에 해당하는 샘플의 지터이다. τ_0 는 하나의 샘플을 측정하는데 걸리는 시간이다. $n\tau_0$ 는 전체 관측 구간이 된다. 예를 들어 여러 수신측에서 발생하는 음성 트래픽은 같은 송신측에서 재생될 경우 동기가 $\pm 10\mu s$ 으로 맞춰져야 하고, 음성과 비디오가 같이 재생될 경우 동기가 $\pm 80ms$ 으로 맞춰져야 한다. 이와 같은 전송상

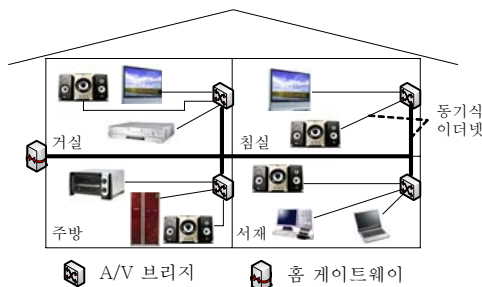


그림 1. 동기식 이더넷의 범주 및 실시간성 애플리케이션과 브리지 사이의 통신

의 지터와 지연의 문제를 해결하기 위해 장치간의 시간 동기는 필수적으로 선행되어야 한다. 이를 위하여 현재 산업 현장의 Profinet에서 이미 상업적으로 이용되고 있는 IEEE 1588과 최근 가정 내의 디지털 전자기기사이에서 동기식 전송 기술의 제공을 위해 표준화 활동 중인 IEEE 802.1AS가 있다.

시간 동기를 위해서는 여러 장치들 중에 표준 시간을 제공하는 장치인 그랜드마스터를 결정할 필요성이 있고, 그랜드마스터가 결정이 되면 이것에 맞추어 시간을 동기화하는 방법이 필요하다.

2.1 그랜드마스터 결정 방법

그랜드마스터는 실시간성 애플리케이션 장치들 및 이들을 연결하는 브리지 장치들 중 어느 하나가 될 수 있다[7]. IEEE 1588은 그랜드마스터를 결정하기 위해 BMC(Best Master Clock) 알고리즘을 이용한다.

그림 2에서 BMC 알고리즘은 데이터셋 비교 알고리즘과 현재 포트의 상태를 결정하는 알고리즘으로 구분된다. 데이터 셋 비교 알고리즘은 각 장치의 시간 데이터 셋과 다른 장치로부터 전달받은 시간 데이터 셋을 비교하는 연산을 수행한다. 현재 포트의 상태를 결정하는 알고리즘은 데이터 셋 비교 알고리즘의 결과로 단말 장치 및 브리지의 포트를 PTP_MASTER 또는 PTP_SLAVE로 동작할지를 결정한다. 결국 모든 포트가 PTP_MASTER로 동작하는 브리지가 그랜드마스터가 된다. PTP_MASTER로 정해진 포트는 PTP_SLAVE로 정해진 포트에 기준 시간 정보를 제공하고 동기를 시킨다.

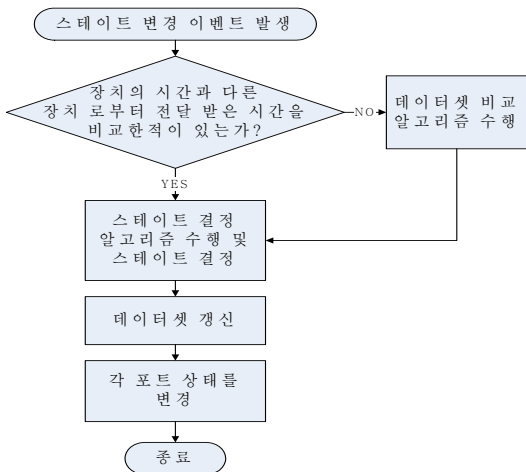


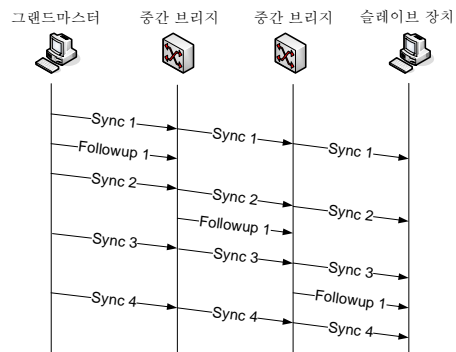
그림 2. IEEE 1588의 BCM 알고리즘 순서도

2.2 시간 동기 방법

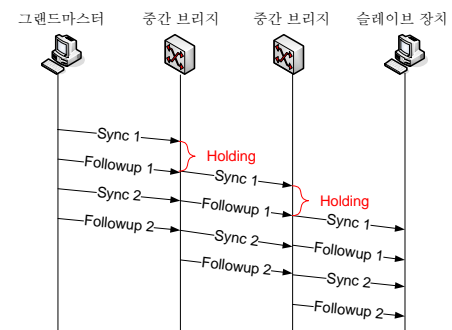
그랜드마스터가 결정이 되고 나면 동기식 이더넷을 구성하고 있는 모든 장치 및 브리지는 그랜드마스터에 맞추어 시간을 동기화해야 한다. IEEE 1588은 시간을 동기화하기 위해서 그랜드마스터와 슬레이브 간의 시간차이(offset)와 전송 지연(propagation delay)을 이용한다[8].

IEEE 802.1AS는 기본적으로 IEEE 1588의 시간 동기 절차를 따른다. IEEE 1588은 이웃 장치들 간의 시간 동기 시 peer-to-peer 동기 절차에서 한 단계(one-step)를 걸쳐 시간을 동기 시킨다. 하지만 IEEE 802.1AS는 두 단계(two-step)로 동기 시키는 점에서 차이가 있다. 그림 3은 두 방식간의 시간 동기 방식의 차이점을 나타낸다.

두 단계로 동기 시키는 방법은 한 단계로 동기 시키는 방법보다 좀 더 정확한 시간 동기를 보장한다[9]. 두 단계로 동기 시키는 방법은 Sync 메시지 전송 후 중간 장치에서 Sync 메시지를 Follow_Up 메시지가 오기 전까지 잠시 잡아두어 (holding) 중간 장치의 시간을 동기화 하는데 걸린 시간과 이전 장치와의 전송 지연을 기록하여 다음 장치에 이를



(a) IEEE 1588 한단계 시간 동기



(b) IEEE 802.1AS 두단계 시간 동기

그림 3. IEEE 1588과 IEEE 802.1AS의 시간 동기 절차의 비교

반영한다. 또한 Sync 메시지가 도착 한 후 실제 PHY 계층에서 시간 정보를 얻어 IEEE 802.1AS 계층까지 시간 정보를 받아와 계산한다. 이를 경우 해당 계층 사이에서 발생할 수 있는 계산 처리 시간을 Follow_UP 메시지를 이용하여 반영 할 수 있는 장점도 가지고 있다.

III. 단일 타임싱크 프레임을 이용한 시간 동기 방법

IEEE 1588과 IEEE 802.1AS에서는 그랜드마스터를 결정하고 시간을 동기화하기 위해 다수의 컨트롤 메시지를 이용한다. 이 경우 네트워크의 부하가 증가하는 문제가 발생하고 실시간 애플리케이션 장치와 중간 브리지에서 다수의 메시지를 처리하기 위한 계산의 복잡도가 증가하는 문제점이 있다.

IEEE 802.1AS 역시 BMC를 간략화한 방법을 이용하지만 IEEE 1588의 개념 개념에서 벗어나지 못한다. 또한 시간 동기 방법에 있어서 기존의 방법들은 시간 차이와 전송 지연을 구하기 위해 다수의 메시지를 이용하였다.

본 논문에서는 그랜드마스터 결정과 시간을 동기화하기 위해 단일 타임싱크 프레임을 이용한 방법을 제안한다. 그림 4는 그랜드마스터 결정 및 변경과 시간 동기를 위해 이용되는 단일 타임싱크 프레임의 구조이다.

단일 타임싱크 프레임은 단일 타임싱크 프레임을 구분하는 부분, 그랜드마스터 결정을 위해 이용되는 부분, 시간 동기를 위해 이용되는 부분으로 크게 세 부분으로 구성된다. 단일 타임싱크 프레임을 이용할 경우 그랜드마스터 결정과 변경을 동시에 수행 할 수 있다. 또한 시간 동기를 위해 다수의 메시지를

사용하는 형태가 아닌 단일 타임싱크 프레임을 이용하여 시간차이와 전송지연을 모두 고려한 시간 동기를 이룰 수 있다.

3.1 그랜드마스터 결정 알고리즘

단일 타임싱크 프레임을 이용한 알고리즘은 BMC 알고리즘의 데이터 셋을 비교하는 단계와 상태를 결정하는 단계를 하나의 처리로 만족 시킬 수 있다. 상태는 IEEE 802.1AS에서와 같이 MASTER, SLAVE, PASSIVE의 세 가지로 정의한다.

- MASTER : 동기 시간을 제공하는 포트 그랜드마스터는 모든 포트가 MASTER 상태를 가진다.
- SLAVE : MASTER 포트에 의해 동기 시간을 제공 받아 시간을 동기화 시키는 포트이다.
- PASSIVE : MASTER 포트에 의해 동기 시간을 제공 받아도 시간을 동기화 시키지 않는 포트이다.

가정 내의 모든 장치들은 전송되어진 프레임에서 hop_count, precedence, unique_id 필드를 비교하여 그랜드마스터를 결정한다.

- hop_count : 단일 타임싱크 프레임을 멀티캐스트하고 브리지의 각 포트의 상태를 결정할 때 가장 낮은 홉 수를 가진 것을 SLAVE 상태로 결정하고 나머지는 MASTER로 결정
- precedence : 네트워크 운영자가 운영상의 편의를 위해 특정 장치에 우선순위를 임의로 줄 때 이용
- unique_id : 각 장치를 유일하게 구분할 수 있는 번호 (MAC 주소)

단일 타임싱크 프레임을 구분	6	dst_addr	수신측 주소
	6	src_addr	송신측 주소
	2	protocol_type	프로토콜 타입 (AVB 타입)
	2	timesync_type	시간 동기 프레임 타입
	2	version	프레임 버전
그랜드마스터 선정을 위해 이용	2	frame_count	시간 동기 프레임 번호
	2	hop_count	그랜드마스터로부터의 홉 수
	2	precedence	그랜드마스터 선정 우선 순위
시간 동기를 위해 이용	8	unique_id	각 장치의 고유 번호
	10	device_time	각 장치의 기준 시간
	10	offset_time	장치 사이의 차이 값
	10	delay_time	장치 사이의 전달 지연 값
	4	fcs	프레임 체크

그림 4. 단일 타임싱크 프레임 필드 구조

각 장치의 포트가 다른 장치로부터 그랜드마스터 결정 알고리즘에 의해 다른 상태로 전이가 일어날 경우 그림 5와 같은 동작을 수행한다. 최초 모든 단말 장치와 브리지는 MASTER 상태에서 시작하여 최초 단일 타임싱크 프레임을 멀티캐스트한다. 그랜드마스터 결정 알고리즘에 의해 SLAVE 상태로 결정되면 MASTER 상태에서 SLAVE 상태로 상태가 전이되고 시간을 동기화 시킨다. 이후 그랜드마스터에 이상이 있을 경우, SLAVE 상태에서 MASTER 상태로 상태가 전이하고 다시 그랜드마스터 결정에 참여한다. 만약 AVB 네트워크의 동작에 참여하지 않는다면 PASSIVE 상태로 상태가 전이되고 다시 참여한다면 MASTER 상태로 전이가 일어난다.

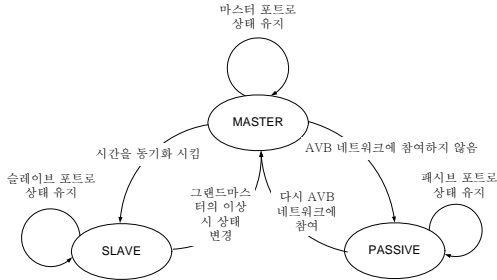


그림 5. 각 장치의 상태 전이 다이어그램

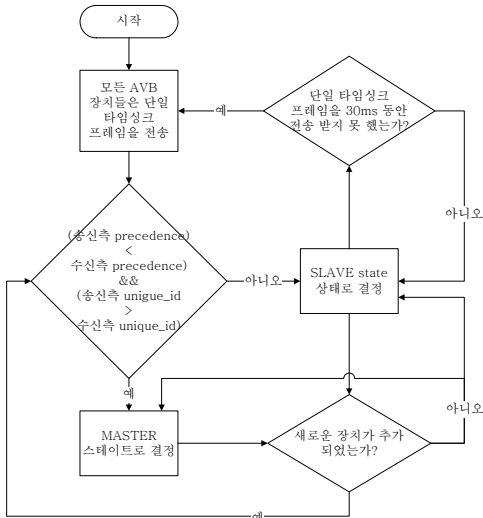


그림 6. 단말 장치일 경우 그랜드마스터 및 슬레이브 상태 결정

그림 6은 AVB 장치가 단말 노드일 경우 그랜드마스터를 결정하는 알고리즘을 순서도로 나타낸 것이다.

각 장치들은 멀티 캐스트된 단일 타임 싱크 프레임의 hop_count, precedence, unique_id 필드를 보고 자신이 그랜드 마스터로 동작할지 슬레이브로 동작할지를 스스로 결정한다. 그랜드 마스터로 동작하게 되는 장치는 이후 10ms 단위로 단일 타임싱크 프레임을 모든 슬레이브 장치로 전송한다. 그림 8은 그랜드마스터 결정과 시간 동기 알고리즘을 같이 표현하고 있다. 그랜드 마스터 결정을 위해 전송측 우선순위(Xpre), 수신측 우선순위(Rpre)를 먼저 비교한다. 그리고 전송측 고유번호(Xuid)와 수신측 고유번호(Ruid)를 비교한 후 수신측 고유번호가 더 작다면 이는 최종적으로 그랜드마스터로 결정이 된다. 그 후 10ms 단위로 모든 장치에 단일 타임싱크 프레임을 이용하여 시간 정보를 제공한다. 만약 그랜드마스터로 동작하는 장치에서 이상이 발생되면,

30ms 이후에 모든 장치들은 다시 그랜드마스터 결정 알고리즘을 수행한다.

3.2 시간 동기 방법

단일 타임싱크 프레임을 이용한 알고리즘은 IEEE 1588과 IEEE 802.1AS에서 이용되는 여러 메시지 형태의 단점인 컨트롤 메시지의 과도한 증가에 대한 해결책으로 볼 수 있다. 여러 메시지 형태를 사용하는 방법들은 전송 지연을 구하기 위해 불필요한 단계를 거치며, 계산의 복잡도 또한 높기 나타난다. 이는 대규모의 네트워크 구성 형태나 단말 장치들 사이에 거리가 먼 형태에서 시간 동기화에 대한 정확성을 어느 정도 보장해 줄 수 있지만, 가정 내 또는 사무실내 장치들 사이에는 이보다 더 간단하면서 정확성을 보장해 주는 방법이 필요하다.

그랜드마스터가 결정이 되고 나면, 모든 장치는 그랜드마스터로부터 시간을 동기화해야 한다. 그랜드마스터는 자신의 기준 시간(Xdt)과 시간 차이 값(Xot)을 이웃 장치들에게 제공한다. 기존의 IEEE 802.1AS와 같이 peer-to-peer 형태로 동기 시간을 제공한다. 하지만 IEEE 802.1AS에서와 같이 Sync 메시지를 잡아두지(holding) 않고 그림 7에서와 같이 각 장치의 시간을 동기화 하면서 이웃 장치에 동기 정보를 전달한다. 따라서 장치 내의 처리 시간에 영향을 받지 않으므로 좀 더 빠른 시간 동기 (tod: time-of-day)를 제공한다. 그림 8에서 시간 동기 알고리즘은 그랜드마스터일 경우 자신의 기준시간(Rdt)과 시간 차이 값(Rot)을 이용하여 자신의 시간을 동기 시킨다. 슬레이브 일 경우 interrupt_remote (stop_message)를 호출하여 더 이상 시간 정보를 제공하는 프레임을 생성하지 않고, 그랜드마스터로부터 전달받은 프레임에 자신의 device_time, offset_time, delay_time을 실어 전달한다. 슬레이브는 프레임 전달과 동시에 자신의 시간을 전달 받은 프레임의 전송 지연을 반영하여 시간을 동기화 시킨다.

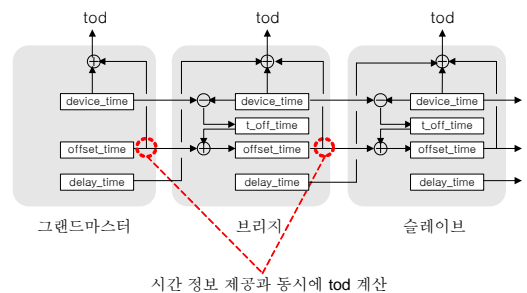


그림 7. 단일 타임싱크 프레임을 이용하여 holding하지 않고 빠른 전송을 제공하는 시간 동기 방법

- **device_time** : 각 장치별로 동작하는 기준 시간
- **offset_time** : peer-to-peer 전달시 그랜드마스터와 각 장치의 시간 차이
- **delay_time** : 이전 장치와 현재 장치 사이의 전달 지연 시간

그랜드마스터로부터 시간 동기를 위해 전송되어진 정보는 다음 수식 (2)로부터 계산되어 진다.

$$\begin{aligned}
 t_{off_time} &= R_{device_time} - X_{device_time} \\
 R_{offset_time} &= t_{off_time} + X_{offset_time} \quad (2) \\
 tod &= R_{offset_time} + X_{delay_time}
 \end{aligned}$$

```

grandmaster_decision and clock_synchronization
(Xpre, Rpre, Xuid, Ruid, Xdt, Rdt, Xot, Rot, Xde)
{
  IF Xpre < Rpre
    IF Xuid > Ruid
      CALL interrupt_remote(stop_message)
      gm_flag = 0
      toff_time = Xdt - Rdt
      Rot = Xot + toff_time
      tod = Rdt + Rot - Xde
    ELSE
      gm_flag = 1
      tod = Rdt + Rot
    ENDF
  ELSE
    gm_flag = 1
    tod = Rdt + Rot
  ENDF
}
    
```

그림 8. 단일 타임싱크 프레임을 이용한 그랜드마스터 결정 및 시간 동기 알고리즘

수신측의 장치 시간(R_{device_time})에서 송신측으로부터 전달된 장치 시간 (X_{device_time})을 빼서 t_{off_time} 을 구한다. 이때 구해진 시간 차이를 송신측의 시간 차이와 값을 더해서 최종으로 두 장치간의 시간 차이(R_{offset_time})을 구하고 이 시간 차이는 송신측으로부터 전달되어진 송신 지연 시간과 합하여 최종적으로 시간에 민감한 애플리케이션이 이용하는 시간(tod)으로 계산된다. 이 값들은 중간 창치를 거치면서 최종 수신측까지 값이 계산되어 단일 타임싱크 프레임에 기록 후 전달된다. 이 과정을 통하게 되면 AVB망 내의 모든 노드들은 같은 tod 값을 가지게 되고 모든 시간이 동기화 된다.

IV. 단일 타임싱크 프레임과 기존의 시간 동기 방법 간의 비교 실험

IEEE 1588 및 IEEE 802.1AS와 제안된 단일 타임싱크 프레임을 이용한 방법을 비교하기 위한 실험을 수행한다. 실험은 OPNET Modeler를 이용하여 실험하였다. 그림 9는 성형으로 구성된 네트워크 구성형태이다. 40개의 장치, 10개의 브리지 및 1Gbps의 링크로 구성되고 각 장치 및 브리지는 그랜드마스터 또는 슬레이브로 동작 할 수 있다.

실험 결과에서는 기존의 IEEE 1588과 현재 표준으로 진행되고 있는 IEEE 802.1AS와의 성능을 비교한다. 또한 기존의 방법과 비교할 때 컨트롤 메시지들의 수가 얼마나 감소했는지도 보여준다.

단일 타임싱크 프레임을 이용하여 그랜드마스터 결정 알고리즘에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고 IEEE 1588과 IEEE 802.1AS의 그랜드마스터 결정 알고리즘과의 성능 비교를 수행하였다. 그림 10은 120초 시뮬레이션 동안 각 방법들의 그랜드마스터를 결정하기까지의 평균 단대단 지연을 나타낸 결과이다. 홉 수가 증가 할수록 세 방법 모두 평균 단대단 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 세 방법 모두 11홉을 거치는 동안 최대 평균 단대단 지연 시간은 545ns 이하에서 그랜드마스터가 결정되는 것을 볼 수 있다. 이는 세 방법 모두 그랜드마스터를 결정하기 위해 단일 메시지를 사용하기 때문에 비슷한 결과를 도출한다.

단일 타임싱크 프레임을 이용한 시간 동기 방법은 기존의 IEEE 1588과 IEEE 802.1AS에서 사용하는 여러 메시지 형태의 방법을 사용하지 않으므로 좀 더 빠른 시간 동기를 제공 할 수 있다.

그림 11은 120초 시뮬레이션 동안 각 방법들의 시간을 동기화하기까지의 평균 단대단 지연을 나타낸 결과이다. 홉 수가 증가 할수록 세 방법 모두 평균 단대단 지연 시간이 증가 하는 것을 볼 수 있다.

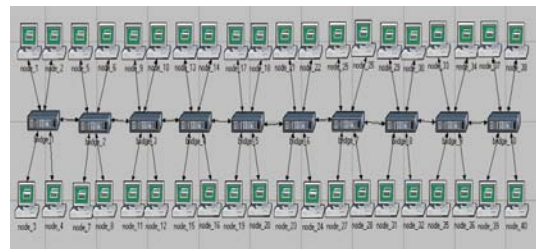


그림 9. 실험을 위해 이용된 성형의 네트워크 구조

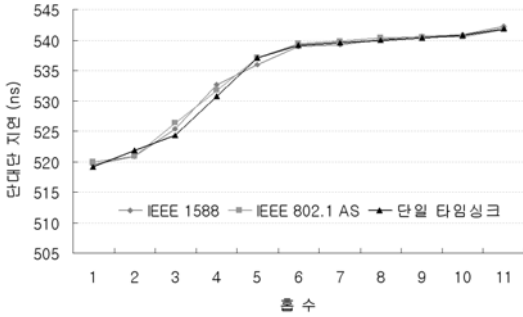


그림 10. 그랜드마스터 결정 시 평균 단대단 지연의 비교

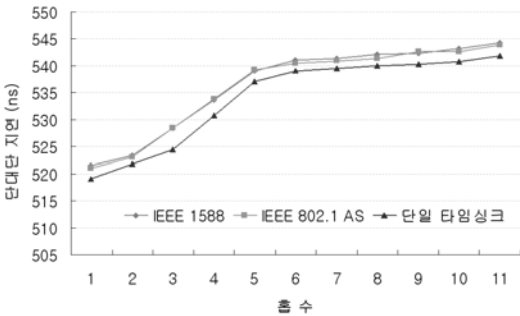


그림 11. 시간 동기 시 평균 단대단 지연의 비교

세 방법 모두 11홉을 거치는 동안 최대 평균 단대단 지연 시간은 545ms 이하에서 모든 장치가 시간이 동기화 되는 것을 볼 수 있다.

제안한 단일 타임싱크 프레임을 이용한 방법은 peer-to-peer로 그랜드마스터로부터 동기 시간 정보를 제공받을 때 시간 동기화 및 동시에 이웃 장치에게 동기 시간을 제공하므로 좀 더 빠른 동기를 이룰 수 있다. 실험에서 IEEE 1588과 IEEE 802.1AS는 각 장치를 거칠 때마다 시간차이와 지연 시간 측정을 위한 여러 컨트롤 메시지를 사용하므로 복잡한 단계를 거친다. 실험 결과 중간 장치에서의 처리 시간의 증가로 인해 제안된 단일 타임싱크 프레임을 이용하는 방법보다 시간을 동기화 하는데 좀 더 오랜 시간이 소요된 것을 확인 할 수 있었다.

IEEE 1588과 IEEE 802.1AS는 같은 메커니즘을 이용하므로 똑같은 수의 컨트롤 메시지를 이용한다. 기존 표준에서는 6종류의 메시지를 이용 하지만 단일 타임 싱크 프레임을 이용할 경우 1가지의 프레임을 이용한다. 그림 12에서와 같이 약 47%로 전체 AVB망에 컨트롤 메시지의 수가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 같은 기능을 하면서 컨트롤 메시지의 수를 줄이는 효과가 있다.

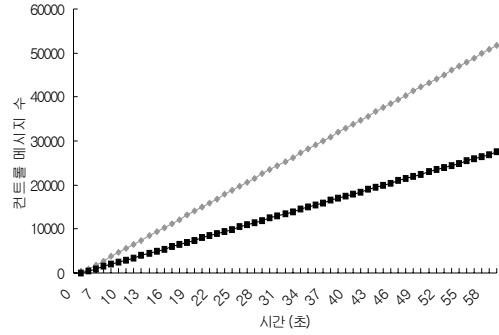


그림 12. IEEE 802.1AS와 제안 방법의 컨트롤 프레임 수

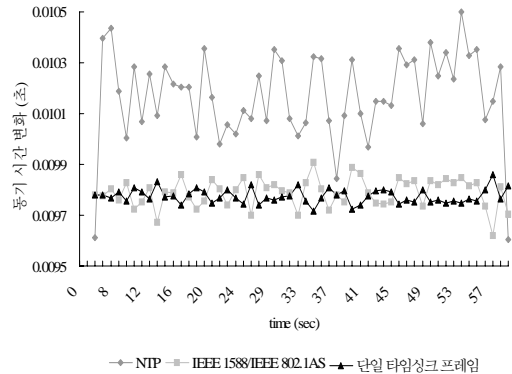


그림 13. 하나의 노드에서 동기 시간의 변화

시간의 동기를 맞추는데 처리 시간의 감소 및 컨트롤 프레임의 감소가 중요한 요인으로 작용하지만, 시간이 얼마나 정확한지를 측정하는 것도 중요한 요소이다. NTP의 경우 타임 서버로부터 전달된 동기 정보를 타임 클라이언트가 받아들여 단순히 시간을 동기화하기 때문에 동기 시간의 변화가 크게 나타난다. 하지만 IEEE 1588이나 IEEE 802.1AS의 경우 전송지연에 대한 보상이 있어 동기 시간의 변화는 NTP 보다 작게 나타나고 정확한 시간을 보장한다. 하지만 IEEE 1588이나 IEEE 802.1AS의 경우 불필요한 컨트롤 메시지들의 사용으로 중간 장치에서 계산 시 그만큼 전체적으로 동기 시간의 변화에 영향을 준다. 그림 13은 세 방법에 대한 동기 시간의 변화 정도를 나타낸다.

제안된 시간 동기 알고리즘을 이용할 경우 프레임 처리의 오버헤드와 하나의 노드에서 동기 시간의 변화 정도를 줄일 수 있으므로 가정 내의 장치들 간에 동기화 시키는데 적합한 방법이라 할 수 있다.

V. 결 론

동기식 이더넷은 가정 내의 디지털 가전기기들 간의 통신을 위해 IEEE 802.1 AVB에서 표준화 활동이 활발히 진행 중인 기술이다. IEEE 802.1AS는 이러한 표준화 단체 중에서 각 장치들 간의 시간을 동기화 하는 방법에 대해 세부적인 표준화 활동을 진행하고 있다. 본 논문에서는 단일 타임싱크 프레임임을 이용하여 그랜드마스터를 결정하고 각 포트별 상태를 정의하는 알고리즘과 시간을 동기화하는 방법을 제안하였다. 실험에서는 IEEE 1588과 IEEE 802.1AS와의 비교 실험을 통해 가정 내의 장치들 간에 그랜드마스터를 결정 할 때 좀 더 간단한 방법을 이용하였다. 그리고 시간을 동기화 할 때 좀 더 빠르게 동기화 할 수 있다는 것을 보여주었다. 실험에서 컨트롤 메시지 수의 감소와 동기시간 변화 정도가 낮게 나타난 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 시간에 민감한 애플리케이션이 많이 존재하고 LAN이라는 짧은 범위의 토폴로지가 주를 이루는 가정 내의 장치들 간에 시간을 동기화 시키는 적합한 방법이라고 할 수 있다.

동기식 이더넷은 가정 내의 실시간 데이터를 지연 없이 전송하는 기술이다. 이러한 실시간 데이터 전송을 위해 시간을 동기화 하는 방법에 대해 다루었지만, 실시간 데이터 전송을 위한 예약방법과 전송 방법에 대해서 더 많은 연구가 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] “홈 네트워크 기술동향 및 시장전망”, IT 정보단, 주간기술동향 통권, 1098호, 2003.
- [2] Eric HS Ryu, “Range of applications for Residential Ethernet,” *RE SG, January 2005 interim meeting*, 2005.
- [3] IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group, <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>.

- [4] Geoffrey M. Garner, “Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks - Draft v.1.0,” *The Interworking Task Group of IEEE 802.1*, Jul, 2007.
- [5] Todor Cooklev, John C. Eidson, and Afshaneh Pakdaman, “An Implementation of IEEE 1588 Over IEEE 802.1b for Synchronization of Wireless Local Area Network Nodes,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.56, No.5, Oct, 2007.
- [6] Anton Cervin, Dan Henriksson Bo Lincoln, Johan Eker, and Karl-Erik Arzen, “How Does Control Timing Affect Performance?” *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 23, pp.16-30, Jun, 2003.
- [7] IEC/IEEE “International Standard IEEE 1588,” *IEC 61588/IEEE1588*, first edition, 2004.
- [8] Svein Johannessen, “Time Synchronization in a Local Area Network,” *IEEE Control Systems Magazine*, Vol.24, No.2, pp.61-69, Apr, 2004.
- [9] Geoffrey M. Garner “Differences between 802.1 AVB and Synchronization Protocols,” *IEEE 802.1 AVB TG, IEEE 802.1 AVB TG / IEEE 1588 Design Meeting*, 2006.

조 정 현 (Jeong-hyun Cho)

정회원



1988년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업

1990년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사

2006년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사

<관심분야> 유비쿼터스 네트워크,

모바일 기술, 영상처리