

AVB(Audio/Video Bridge) 네트워크에서의 실시간모니터링 연구

A Study on the Real-Time Traffic Monitoring in A AVB Network

안정균*, 권용식*, 엄종훈*, 김성수*, 조동권*, 강성환**, 김성호**

Jung-kyun Ahn, Yong-sik Kwon, Jong-hoon Eom, Sung-soo Kim,
Dong-kwon Cho, Sung-hwan Kang, Sung-ho Kim

Abstract

본 논문은 VoIP, IPTV, VoD 등의 실시간 서비스 품질을 네트워크 노드에서 모니터링함으로써 네트워크에서 발생한 품질이상을 분석할 수 있는 스위치 칩을 설계하였다. 인터넷 서비스의 특성상 단대단 서비스에 기반한 실시간서비스는 품질이상이 발생한 위치를 정확하게 분석할 수 없기 때문에 유지보수에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 실시간서비스에 해당하는 플로우를 등록하고 해당 플로우가 장치내에서 발생한 패킷손실, RTP 시퀀스 넘버를 참조하여 이전 장치에서의 패킷손실, 패킷의 IAT(Inter Arrival Time), 대역폭, 그리고 장치내 지연을 실시간으로 측정할 수 있는 기능을 가진 AVB(Audio/Video Bridge)칩을 구현하기 위해 IEEE802.1AS를 기반한 시간동기 프로토콜의 정확성을 시뮬레이션하고, FPGA를 이용하여 구현한 AVB 스위치칩에서 타임스탬프의 정확성을 확인함으로써 실시간서비스의 품질을 네트워크에서 실시간으로 모니터링 할 수 있는 가능성을 확인하였다.

Keywords : AVB(Audio/Video Bridge), Time Synchronization, Latency, TimeStamp

1. 서 론

최근 초고속 인터넷의 확산에 힘입어 VoIP, 고화질 HD급 IPTV, Tele-Presence, Cloud 컴퓨팅과 같은 실시간 서비스가 급격하게 보급되고 있다. 이러한 전송 지연시간이나 지터에 민감한 대용량 멀티미디어 또는 네트워크 컴퓨팅 서비스의 품질을 측정하고 분석하여 품질을 안정화 하기 위한 노력이 가시화되고 있으나 IP기반의 비연결적 전송 특성, Best-effort 기반의 전송, 그리고 단대단 서비스의 특성상 단말이나 서버가 아닌 네트워크 장비에서 품질을 측정하기가 쉽지 않다.

혼잡 등으로 인하여 실시간서비스 장애가 네트워크 장치에서 발생할 경우, 장애가 발생한 위치, 장애의 원인 등을 네트워크에서 확인이 불가능하여 적절한 조치를 취하기가 힘들어진다. 단말에서 서비스 품질 이상이 확인되더라도 위치와 원인을 분석할 수 없으므로 인해 유지보수비용이 증가하고, 서비스 품질을 높이기 위해서는 충분한 대역폭을 제공해야 하므로 과도한 투자가 불가피해진다.

이러한 유지보수와 투자비용 문제를 해결하기 위해서는 장애의 위치와 원인을 분석할 수 있는 네트워크 기반의 실시간 모니터링 기술개발이 필요하고, 실시간 모니터링을 바탕으로 트래픽 엔지니어링을 할 수 있다.

실시간 서비스의 특성상 해당 플로우의 패킷손실, 지연, 또는 지터 등과 같은 네트워크 파라미터를 분석하여 서비스 품질을 모니터링 할 수 있다.

실시간 전송을 위해 IP네트워크에서 주로 적용하는 RTP와 같은 프로토콜 헤드에는 해당 패킷의 시퀀스 넘버와 인코딩 시간이 포함되어 있어서, 각 네트워크상의 장치에서 이 정보를 활용할 경우, 패킷의 손실과 지연, 그리고 지터를 측정할 수 있다[5]. 이러한 실시간 프로토콜을 활용하기 위한 기본적인 요구조건으로 네트워크가 동기가 이루어지면 네트워크상에서의 실시간 모니터링이 용이해지지만, 현재의 네트워크에서 적용하고 있는 NTP 프로토콜의 경우, 정확도가 낮아 실시간 서비스에 적용하기 불가능하다.

따라서 네트워크를 이용하여 보다 정확한 시간동기를 제공할 수 있는 기술들 중에서 홈네트워크나 가입자망에서 적용 가능한 기술로 IEEE802.1AS의 시간 동기화 방법은 근본적으로 IEEE1588 의 PTP(Precision Time Protocol) 동기방식을 이용하며, IEEE 1588 PTP(Precision Time Protocol)는 네트워크상에 연결된 측정과 제어 시스템에 정밀한 동기를 제공하는 프로토콜이다.[2-3]

IEEE802.1 AS는 IEEE1588의 개념을 이용되 LAN 환경에서 이루어지는 통신을 위해 IEEE1588 보다 정확하고 간단한 통신 프로토콜을 개발하고 있다.[3] IEEE802.1 AVB TG 에서는 7hops 에서 2msec 이내의 실시간전송과 1usec 이하의 정교한 시간 동기화 프로토콜의 표준화가 진행 중에 있다[1,3].

본 논문에서는 IEEE AVB TG에서 표준화 중인

접수일자 : 2009년 8월 7일

최종완료 : 2009년 8월 7일

*KT 중앙연구소

교신저자, jkahn@kt.com

**국립경북대학교

IEEE802.1AS 프로토콜에 의한 동기화 방법과 브릿지의 구조를 간략히 설명하고, 시뮬레이션을 통하여 프로토콜의 시간동기 정확도를 고찰한 후, 이 프로토콜을 탑재한 브릿지를 FPGA에 구현하여 실시간 모니터링을 위한 패킷의 장치내 Latency 값을 측정하고 오실로스코프 등을 이용하여 측정된 값의 정확도를 확인하였다.

II. 본 론

가. 시간동기 개요

IEEE 802.1AS는 bridge와 station들간의 클럭을 그랜드마스터의 기준클럭에 시간을 동기화한다. 각 AS 장치들은 그랜드마스터 클럭 결정(best master clock selection), 평균 전달지연(mean propagation delay computation) 및 시간동기(time synchronization) 기능을 수행한다.

그림 1은 AS 장치들이 동기화를 위해 발생시키는 메시지와 AS네트워크에서 메시지 전달체계이다. 네트워크 동기화를 위해 먼저 장치들의 클럭간 위계를 결정하여 그랜드마스터 클럭을 선정하고, 선정된 그랜드마스터 클럭은 네트워크에 기준클럭을 제공하기 위해 Sync 메시지를 전송한다. 전송된 Sync 메시지의 타임스탬프와 이웃하는 장치간의 평균전달지연시간을 계산하여 자신의 클럭을 그랜드마스터 클럭에 동기화 한다.

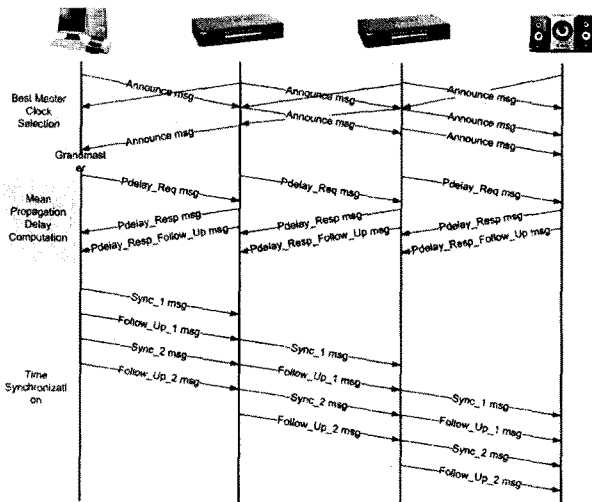


그림 1. IEEE 802.1AS프로토콜 메시지

그림 1에서 보는 바와 같이 네트워크상의 클럭들 중에서 그랜드마스터 클럭을 결정하기 위해 모든 클럭들은 Announce 메시지를 전송하고, 평균전달지연 시간을 계산하기 위해 Pdelay_Req, Pdelay_Resp, Pdelay_Resp_Follow_Up 메시지를 전송하며, 시간 동기를 위해 Syn, Follow_Up 메시지를 전송하여 동기를 맞춘다.

IEEE802.1AS표준에서 규정하고 있는 메시지들의 자세한 기능은 아래의 표 1과 같다.

위의 메시지 중에서 패킷이 송수신 될 때의 정확한 시간을 알기 위해 타임스탬프가 필요한 Sync, Pdelay_Req, Pdelay_Resp 메시지는 이벤트 메시지가이고, 나머지 메시지는 타임스탬프가 필요 없는 일반 메시지이다.

시간동기를 위한 위의 메시지를 이용하여 그랜드마스터와 n번째 장치(Slave) 간의 시간차이 ΔT_{slave_offset} 는 개념

표 1. IEEE 802.1AS 메시지 종류 및 역할

Messages	Description
Announce	그랜드마스터를 결정하기 위해 이용 각 station 및 bridge는 자신이 가진 클럭 속성 정보를 이웃 station 및 bridge에게 전달
Sync	시간을 동기화 하기 위해 이용 정확한 시간 동기를 위해 각 station 및 bridge에서는 PHY 계층에서 타임스탬프를 획득함. Sync 메시지가 전달되면서 타임스탬프를 생성
Follow_Up	시간을 동기화 하기 위해 이용 Sync 메시지가 전달되면서 생성된 타임스탬프를 Follow_Up 메시지의 필드에 기록하여 전달.
Pdelay_Req	평균전달지연 시간을 계산하기 위해 이용 각 station 및 bridge는 자신과 이웃하는 station 및 bridge와의 평균 전달 지연 시간을 계산하기 위한 타임스탬프를 생성
Pdelay_Resp	평균 전달지연 시간을 계산하기 위해 이용 Pdelay_Req 메시지를 전달 받은 station 및 bridge는 Pdelay_Req 메시지를 전달 받은 타임스탬프를 기록하여 Pdelay_Req 메시지를 전달한 쪽으로 타임스탬프를 P delay_Resp 메시지의 필드에 기록하여 전달
Pdelay_Resp_Follow_Up	평균 전달지연 시간을 계산하기 위해 이용 Pdelay_Resp 메시지를 전달 할 때 타임스탬프를 전달

적으로 아래 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta T_{slave_offset} = t_{n,s1} - t_{1,Gr} - \Delta T_{pr}$$

$$\Delta T_{pr} = \sum_{i=1}^{N-1} t_n + \sum_{i=0}^{N-1} t_{pi} \quad (1)$$

위 식에서 ΔT_{slave_offset} 는 그랜드마스터와 슬레이브 노드 간의 시간차이, $t_{n,s1}$ 는 n 번째 단말의 타임스탬프값, $t_{1,Gr}$ 는 그랜드마스터의 타임스탬프 값이고, ΔT_{pr} 는 평균 지연시간이다. 평균전달지연시간 ΔT_{pr} 는 패킷이 장치내 머문 시간 t_{ri} 과 전파지연 t_{pi} 의 합으로 표현된다.

나. 시간동기 시뮬레이션

시간동기를 위한 IEEE 802.1 AS 표준을 만족하는 AS 단말과 AS브릿지를 모델링하기 위해 OPNET 모델 중에서 ethernet_station_adv를 수정하여 AS단말을 모델링하고 ethernet8_bridge_adv를 수정하여 AS브릿지로 모델링하였다. AS 단말과 브릿지의 시간동기기능을 위해서 TimeSync 프로세스모듈을 구현하였다[4].

그림 2의 TimeSync 프로세스모듈은 시간동기를 위해 사용되는 메시지들(announce, sync, follow_up, Pdelay_req)과 응답관련 메시지 (Pdelay_resp, Pdelay_resp_follow_up)를 발생하고 장치간 전파 지연시간을 계산하여 시간 동기화를 처리하는 기능을 수행한다.

그림 3은 TimeSync 프로세스 모듈을 포함한 AS단말과 AS브릿지 모델로 7hops의 네트워크를 구성하고 각각의 브

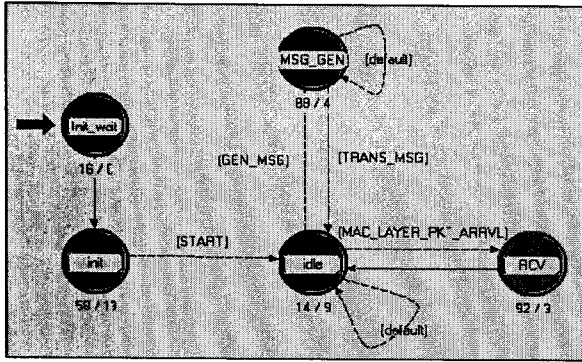


그림 2. OPNET 모델을 이용한 TimeSync 모델

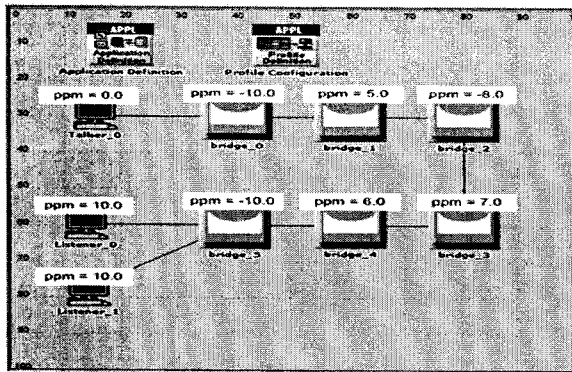


그림 3. AVB 네트워크

릿지와 단말에 클럭 속도가 다르게 적용하여 AS 네트워크를 구성하였다.

그림 3에서 보듯이 Talk0를 그랜드마스터(GM) 클럭으로 설정하여 네트워크에 기준클럭을 제공하고, 기준클럭에 비해 차례로 -10ppm, 5ppm, -8ppm, 7ppm, 6ppm, -10ppm의 서로 다른 클럭속도를 각각의 브릿지들에 적용하였으며, Listener0와 Listener1에는 10ppm의 클럭속도차이를 부여하였다. bridge_0, bridge_2, bridge_5는 그랜드마스터(talk_0) 클럭보다 속도가 느린 (-)ppm 클럭을 설정하고, bridge_1, bridge_3, bridge_4, 그리고 Listener_0과 Listener_1은 그랜드마스터의 클럭속도 보다 더 빠른 (+)ppm을 설정하였다.

그리고 AVB 네트워크에 IEEE802.1AS 프로토콜 절차에 따라 sync메시지를 전송하고 전파지연을 측정하여 각 브릿지와 노드를 그랜드마스터 클럭에 동기시켰다.

그림 4와 그림 5는 주기적으로 AS 동기절차를 실행한 후, 각각의 장치에서 그랜드마스터에 해당하는 talk_0와의 시간차이를 시간에 따라 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. talk_0의 기준 클럭속도 보다 빠른 클럭을 가진 경우와 느린 클럭을 가진 시뮬레이션 결과가 상이한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 7ppm과 10ppm의 (+)ppm 클럭속도를 가진 bridge_3와 Listener_0는 sync 메시지에 의해 동기가 이루어지는 시점에서 0.25usec와 0.40usec 정도 talk_0의 기준 시간과 차이를 보인 후, 클럭속도가 기준클럭에 비해 빠르기 때문에 (+)기울기를 보이며 동기시간에서 점차 멀어진다. 동기 주기 내에서 10ppm의 클럭 속도차이를 가진 Listener_0가 7ppm의 bridge_3에 비해 기울기가 급하게 동

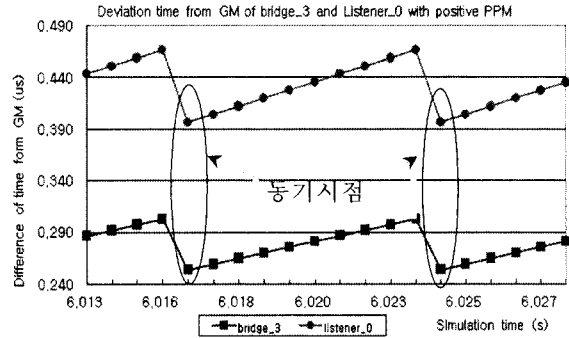


그림 4. (+)ppm 브릿지와 단말의 동기 시간차이

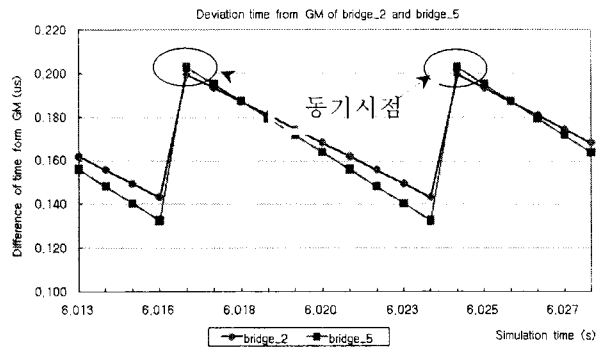


그림 5. (-)ppm 브릿지의 동기 시간차이

기시간에서 벗어남을 확인할 수 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이 -8ppm과 -10ppm의 (-)ppm 클럭 속도를 가진 bridge_2와 bridge_5는 sync 메시지에 의해 동기가 이루어지는 시점에서 0.2usec 정도 talk_0의 기준 클럭과 차이를 보인 후, 클럭속도가 늦기 때문에 (-)기울기를 보이며 다음 동기시점까지 점차 멀어진다. 동기 주기 내에서 -10ppm의 클럭 속도를 가진 bridge_5가 -8ppm의 bridge_2에 비해 기울기가 급하게 동기시간에서 벗어남을 알 수 있다. 그러나 동기시의 시간차이 값이 (+)값을 가졌기 때문에 오히려 기준이 되는 talk_0의 값에 가까이 접근하는 긍정적인 결과를 보였다.

위의 시뮬레이션 결과에서 기준시간을 제공하는 talk_0에 대해 동기시 모든 장치들이 (+)편차의 값을 보이는 이유는 시뮬레이션시 가정에 의해 설정된 타임스탬프 기준클럭의 설정값이나 평균전파지연시간의 계산에서 (+) 값이 계산된 결과로 판단된다.

그림 4에서 동기시간의 차이는 이웃하는 장치간의 클럭 속도차이가 클수록 더 큰 편차를 보인다. bridge_3과 이웃하는 그랜드마스터측 장치와의 클럭차이는 15ppm인 반면에, Listener_0는 20ppm의 차이를 보이고 있다. 따라서 평균전파지연시간을 구하기 위해 이웃 장치 간의 클럭속도 차이를 보정하여 적용하는 neighborRateRatio 값에 의해 동기시간의 편차가 주로 발생하는 것으로 판단된다.

다. IEEE802.1 AS Bridge 구현 및 타임스탬프 기능 IEEE802.1AS 프로토콜을 모델링 하여 시뮬레이션하고 이 기능을 draft 표준에서 권장하는 AS 브릿지로 FPGA보드를 제작하여 기능을 탑재하였다.

위의 AS 브릿지는 크게 다음과 같은 기능 엔티티로 구

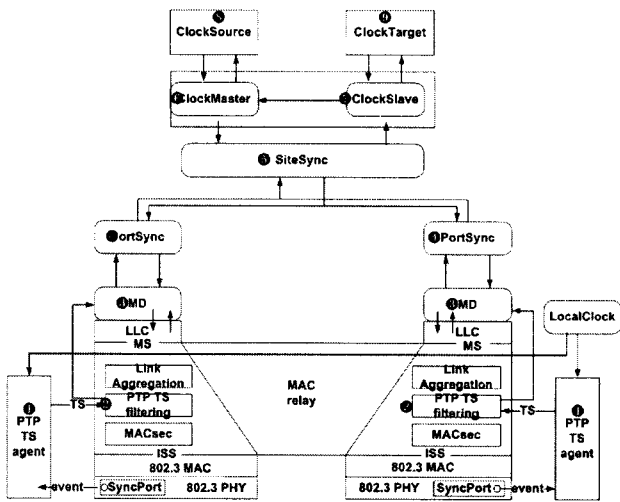


그림 6. IEEE802.1AS Full duplex Bridge 구조

분할 수 있다. ① PTP TS agent 엔티티, ② PTP TS (Traffic Specific) filtering 엔티티, ③ MD(Media Dependent) 엔티티, ④ PortSync 엔티티, ⑤ SiteSync 엔티티, ⑥ ClockMaster 엔티티, ⑦ ClockSlave 엔티티, ⑧ ClockSource 엔티티 및 ⑨ ClockTarget 엔티티 등을 포함한다. 각 엔티티들의 자세한 기능은 표 2와 같다.

ClockMaster와 ClockSlave는 브릿지나 스테이션 자신이 그랜드마스터가 되거나 슬레이브가 될 경우, 소스클럭을 받아 제공하거나 수신한 동기클럭으로 자신의 클럭을 동기화하는 엔티티이다.

AS브릿지는 패킷이 PHY를 통과하여 수신할 때 SyncPort에서 이벤트를 발생하고, PTP TS agent 는 이벤트가 들어온 시점의 시간을 LocalClock으로부터 받아 타임스탬프를 생성한다. PTP TS filtering은 모든 패킷에 생성한 타임스탬프를 메시지 헤드를 참조하여 필요한 경우를 제외하고 삭제한다. MD에서는 메시지를 생성하여 필요한 Follow-up메시지 등에 타임스탬프 정보를 기록하는 등의 기능을 수행하고, PortSync에서는 포트정보를 관리한다. SiteSync에서는 타임스탬프를 기반으로 동기시간을 계산하고, Announce 메시지로부터 자신의 클럭과 외부에서 수신된 클럭들을 비교하여 BMA(Best Master Algorithm)를 계산하여 클럭의 계위를 결정하여 그랜드마스터가 되거나 슬레이브로 결정한다.

각 엔티티의 기능은 표 2와 같다.

위에서 설명한 기능모듈을 포함한 AS 브릿지(AVB)를 FPGA 로 구현하고 오실로스코프(OSC)와 네트워크분석기(Network Analyzer, N.A)를 이용하여 AS 브릿지의 정확도를 검증하기 위해 아래와 같이 시험환경을 구성하였다.

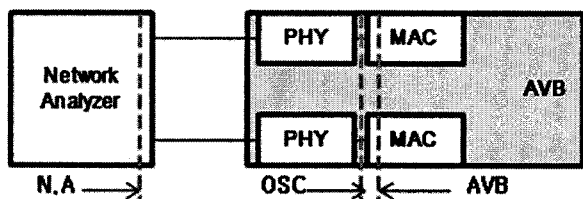


그림 7. 패킷 지연시간 시험 구성도

표 2. AS 기능엔티티 역할

Entity	Description
① PTP TS agent	SyncPort로부터 송수신 패킷의 입출력 이벤트를 받아 LocalClock 기준으로 타임스탬프를 생성
② PTP TS filtering	이벤트 메시지의 타임스탬프만 전달한다.
③ MD	필요시 메시지에 타임스탬프 값을 설정하여 네트워크나 상위 계층으로 메시지를 메시지를 전달한다.
④ PortSync	각 포트의 DS 엔티티로부터 전달 받은 메시지와 포트정보를 SiteSync 엔티티로 전달하는 기능을 한다.
⑤ SiteSync	동기시간, rateRatio, BMA를 계산한다.
⑥ ClockMaster	ClockSource 엔티티로부터 시간 정보를 전달받고 시간 정보를 기록한 다음 SiteSync 엔티티로 전달한다
⑦ ClockSlave	SiteSync 엔티티로부터 전달 받은 시간 정보를 기록하고 ClockSource 엔티티로 시간 정보를 전달한다.
⑧ ClockSource	자신이 그랜드마스터인 경우, 기준 시간을 ClockMaster 엔티티로 제공한다.
⑨ ClockTarget	그랜드마스터로부터 전달 받은 시간 정보는 ClockSlave 엔티티를 통해 ClockTarget 엔티티로 전달된다. ClockTarget 엔티티에서 최종 동기 시간 정보를 이용한다.

그림 7에서 보는 바와 같이 네트워크 분석기에서 패킷을 AS 브릿지(AVB)로 전송하고 AVB에서 패킷을 다른 포트에 스위칭하여 네트워크 분석기로 다시 돌아온 패킷의 장치내 지연시간을 측정하였다. 네트워크 분석기뿐만 아니라 오실로스코프와 AS 브릿지(AVB)에서 동일한 패킷에 대해 장치내 지연시간을 측정하여 비교하였다. 위의 구성도에서 보듯이 지연시간을 측정하는 기준점이 장치별로 상이하여 측정된 장치내 지연값에는 미세한 차이가 발생하였다. 오실로스코프에서는 PHY에서 MII 시퀀스 단자로 전달되는 TX_EN, RX_DV 시그널을 통하여 장치내 지연값을 측정하였고, AS브릿지는 MAC의 하부에서 패킷 인입시 직접 타임스탬프를 발생하여 측정하였다.

측정된 결과는 아래 그림 8과 같다.

네트워크 분석기와 AS 브릿지(AVB)에서 측정된 장치내 지연시간 차이는 그림 8에서 보는 바와 같이 패킷의 길이에 영향을 받지 않고, 7.08usec 정도로 일정한데, 이 결과는 시험을 위한 네트워크 케이블과 측정기의 PHY에서의 지연에

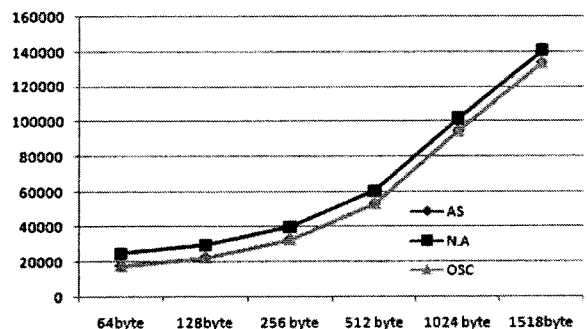


그림 8. 장치내 지연 측정 결과

의한 값(평균 6,754nsec), 그리고 AS브릿지의 해당 PHY에서의 지연이 포함된 값이다. 직접적으로 AS브릿지의 PHY에서 발생하는 지연시간을 정확하게 측정하기는 어렵지만 네트워크 분석기와 케이블의 지연을 고려하여 환산하면 평균 330.0nsec 정도가 된다. 즉, 네트워크에서 인입된 패킷이 PHY에서 버퍼링 후 MII로 nibble 단위로 전송되기까지 330nsec정도의 지연이 발생한 것으로 판단된다.

아래 그림 9는 오실로스코프와 AS브릿지에서 각각 측정된 장치내 지연 값의 차이이다.

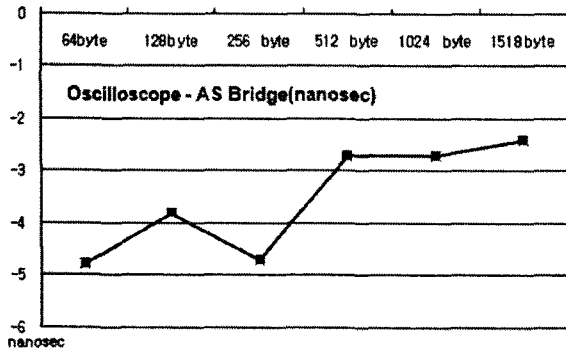


그림 9. 오실로스코프와 AS브릿지와의 지연차이

위의 결과는 그림 7의 시험구성도 상에서 전송경로가 미세하게 긴 오실로스코프에 의한 장치내 지연시간이 AS브릿지에 의해 측정된 지연시간보다 길 것으로 예상되지만, 오실로스코프의 측정값이 실제 시험에서 작게 측정되었다. 오실로스코프와 AS브릿지에 의한 평균 지연 측정값의 차이가 -3.5nsec 정도로, 이는 AS 브릿지의 자체클럭 속도가 오실로스코프의 클럭에 비해 10ppm이상 빠르고, 오실로스코프의 클럭분해능은 2nsec인 반면, AS브릿지의 클럭 주파수가 125MHz로 분해능이 8nsec이기 때문에 차이값은 AS브릿지의 클럭분해능 범주내 오차로 판단되며, 따라서 AS브릿지의 타임스탬프에 의한 지연측정 기능이 매우 유의미하여 실시간 모니터링에 적용 가능할 것으로 판단된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 네트워크 기반의 실시간 모니터링을 위한 환경을 구축하기 위해 홈 또는 가입네트워크 동기를 제공할 수 있는 IEEE802.1AS 프로토콜을 이용하여 OPNET으로 AVB 네트워크를 모델링하고 시간동기를 시뮬레이션한 결과, 7hops에서 1usec 이하의 동기시간 정확도 요구사항을 만족하였고, 이 프로토콜을 탑재한 AS 브릿지를 FPGA로 구현하여 타임스탬프를 기반으로 측정된 장치내 지연시간과 오실로스코프에서 측정된 값을 비교한 결과 AS 브릿지의 클럭분해능 범위내의 정확도로 브릿지에서 실시간 모니터링이 가능함을 확인하였다.

실시간서비스를 네트워크 기반으로 모니터링하기 위해서는 본 논문에서 측정된 장치내 지연뿐만 아니라, 해당 서비스의 장치내 패킷손실, RTP를 이용한 패킷손실과 전송지연, 지터 등의 네트워크 파라미터를 네트워크 장치에서 더욱 정확하게 측정하기 위한 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group Home Page. Jul. 2009, <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>
- [2] IEEE standard 1588 "Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems," 2008.
- [3] internetworking Task Group of IEEE 802.1," Timing and Synchronization for Time - Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks, "P802.1AS/D6.1. Aug.2009.
- [4] OPNET Modeler Training Manual, 2007.
- [5] Colin Perkins, *RTP Audio and Video for the Internet*, Addison Wesley, NewYork, 2006.