

동기식 이더넷에서의 장치 동기화 방법 및 실시간 트래픽을 위한 대역폭 예약

준회원 김민준*, 정회원 엄종훈**, 권용식**, 이정원*, 김승호*

Device Synchronization Method and Bandwidth Reservation for Isochronous Traffic in Synchronous Ethernet

Min-jun Kim* *Associate Member*, Jong-Hoon Eom**, Yong-sik Kwon**,
Jung-won Lee*, Sung-ho Kim*^o *Regular Members*

요 약

디지털 멀티미디어 장치의 증가에 따라 네트워크를 통하여 실시간 트래픽을 전송을 지원하기 위한 연구들이 많이 진행되고 있다. 이 중에서도 이더넷이 가지는 장점으로 이더넷을 이용한 네트워크 기술을 활용하는 방안이 초점이 맞춰지고 있다. 이더넷에서 실시간 트래픽을 지원하기 위한 네트워크 기술의 표준화는 IEEE 802.1 AVB TG에서 진행 중이다. 본 논문은 이더넷에서 실시간 트래픽을 지원하기 위한 기술, 즉 동기식 이더넷에서의 장치 간의 동기화 방법을 제안한다. 그리고 동기가 맞추어진 장치에서 시간에 실시간 트래픽을 전송하기 위해 필요한 대역폭을 예약하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 동기식 이더넷 모델은 OPNET을 통해 구현하였고 제안한 동기화 방법과 대역폭 예약 방법의 효율성을 분석하였다.

Key Words : Synchronous Ethernet, 802.1 AVB, Synchronization, Reservation, Isochronous

ABSTRACT

By growth of digital media devices, a number of researches are in progress for transmission of isochronous traffic over network. Above all, network techniques that apply Ethernet, are in the limelight because of advantages of Ethernet. A standardization of network technique for isochronous traffic over Ethernet is in progress in IEEE 802.1 AVB TG. This paper proposed network technique for isochronous traffic over Ethernet model, that is, synchronous Ethernet model with synchronization method between devices. And this paper proposed bandwidth reservation method for transmission of isochronous traffic in synchronized devices. In this paper, synchronous Ethernet model is implemented through OPNET, efficiency of proposed methods is analyzed.

I. 서론

오늘날 DVD 플레이어, 디지털 TV, 디지털 오디오 장치 등과 같은 실시간 트래픽을 생성하고 재생

하는 디지털 미디어 장치들이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이처럼 증가하는 디지털 미디어 장치에 따라 홈 네트워크 더 나아가 LAN (Local Area Network) 내에서 장치들을 상호 연결 가능한 네트

* 본 논문은 BK21사업에 의하여 지원되었습니다.

* 경북대학교 컴퓨터공학과 Realtime Image Processing & Telecommunication 연구실 (mjkim@mmlab.knu.ac.kr, jwlee@mmlab.knu.ac.kr, shkim@knu.ac.kr), ** KT 미래기술연구소 (jheom@kt.ac.kr, yongsik@kt.co.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2006-11-501, 접수일자 : 2006년 11월 17일, 최종논문접수일자 : 2007년 4월 11일

워크 기술의 필요성도 함께 증대되고 있다.

현재는 이러한 기술로 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1394가 사용되고 있다. IEEE 1394 기술은 주변기기를 컴퓨터에 연결하는 고속의 시리얼 버스 입출력 기술로 애플(Apple)사에서 개발하였고 속도가 빠르다는 의미의 Firewire 라고도 불리는 기술이다. 이 기술은 고속의 멀티미디어용 주변기기에 적합한 기술로 실시간 트래픽을 지원할 뿐만 아니라 비실시간 트래픽의 전송도 가능하므로 고속 및 저속 장비에 모두 사용할 수 있다는 장점이 있다¹⁾.

하지만 IEEE 1394는 근거리의 통신만을 지원해 주기 때문에 인접한 기기들의 연결 시에만 사용될 수 있어 가정 또는 지역 네트워크 내의 모든 디지털 장치들 간의 실시간 트래픽을 지원하는 용도로 사용하기에는 문제가 있다. 또 한, IEEE 1394로 연결된 모든 시스템은 하나의 공유 매체 상에서 동작하므로 새로운 장치를 인식할 때나 연결된 장치가 분리될 때 전송매체가 일시적으로 재시작되는 문제점도 있다. 뿐만 아니라 IEEE 1394의 인지도도 낮기 때문에 네트워크 시장 관점에서도 취약하다²⁾.

IEEE 1394가 가지는 여러 가지 단점에 대한 해결책으로 이더넷을 이용한 방법이 제시되고 있다. 이더넷은 1973년 제록스(Xerox) 사에 의해 정식 발명되었고 1982년 이더넷 2.0 규격이 발표되면서 현재의 모습을 갖게 되었다. 이더넷은 간단한 방법으로 다중 전송이 가능하고, 통신 매체나 장비들의 가격 이 저렴하여 쉽게 확장할 수 있고 또한 IEEE 1394에서의 단점이었던 완벽한 Plug & Play 를 지원할 수 있어 이미 LAN 환경에서 80% 이상의 점유율을 보이고 있으므로 시장성의 관점에서 매우 우수한 기술이다^{2,3)}.

이더넷을 이용하여 디지털 미디어 장치간의 실시간 트래픽을 지원해 주기 위한 기술을 현재 IEEE 802.1 AVB TG (Audio/Video Bridging Task Group)에서 표준화를 진행 중이다. IEEE 802.1 AVB TG는 크게 세가지를 주요 논의 과제로 삼고 있다. 첫째, LAN 내의 장치 간에 동기를 맞추기 위한 방법 둘째, 동기가 맞추어진 장치들 간에 실시간 트래픽을 전송하기 전에 필요한 대역폭을 예약하는 방법 셋째, 예약된 대역폭을 통해 전송을 시작한 실시간 트래픽과 예약없이 기존의 이더넷 전송 방법을 따르는 비실시간 트래픽의 전달 방법이 주요 논의 과제이다⁴⁾.

본 논문에서는 IEEE 802.1 AVB TG에서 논의

중인 주요 논의 과제 중 동기식 이더넷 장치간의 동기화 방법과 동기화된 장치의 실시간 트래픽의 전송을 위한 대역폭 예약 방법을 제안한다. 논문의 구성으로 2장에서는 기존의 이더넷의 문제점을 파악하고 동기식 이더넷과 유사한 방법에 대해 다루고, 3장에서는 동기화 방법과 예약 방법에 대해서 다룬다. 그리고 4장에서 OPNET을 이용한 동기식 이더넷 모델을 살펴보고 그 실험 결과를 제시하여 마지막으로 5장을 통해 결론을 맺는다.

II. 기존 이더넷의 문제 및 유사한 해결 방안

기존의 이더넷 기술이 각종 디지털 미디어 장치 등에서 생성되는 실시간 트래픽의 전송에 사용되는데 존재하는 문제점을 설명하고 동기식 이더넷과 유사한 목적인 실시간 트래픽 전송을 위한 다른 방법들에 대해서 제시한다. 그리고 IEEE 802.1 AVB TG에서 표준화 중인 동기식 이더넷의 구조에 대해서 살펴본다.

2.1 기존 이더넷의 문제점

초창기 이더넷은 LAN내의 모든 장치들이 하나의 공유된 전송 매체를 이용하여 통신하는 방식인 버스(Bus) 형 구조로 통신을 하였다. 따라서 다수의 사용자가 버스형 통신 매체를 통해 데이터를 전송하기 위해 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 방식으로 통신하였다³⁾. CSMA/CD 방식의 특징상 데이터를 전송할 때 충돌을 피하기 위해 비결정적인 방법을 이용하여 전송 시점을 결정하게 되므로 전송 지연에 민감한 멀티미디어 데이터와 같은 실시간 트래픽을 전송할 때 좋은 방법이 아니었다.

하지만 현재 발달한 이더넷 기술이 전이중 통신이 가능해 짐에 따라 성(Star) 형 구조를 이용하여 점대점 연결을 이루게 되고 그로 인해 충돌에 따른 비결정적인 지연 시간의 문제점은 발생하지 않는다. 그리고 트래픽에 우선순위를 두어 처리하는 IEEE 802.1p 방식을 이용하게 되어 실시간 트래픽을 우선적으로 처리할 수 있게 됨으로써 어느 정도의 서비스의 질(QoS: Quality of Service)을 향상시킬 수 있게 되었다⁵⁾. 하지만 802.1p 방식은 아래와 같은 세가지 큰 문제점이 있다²⁾.

IEEE 802.1p 규격을 따르는 이더넷은 동시에 전송할 프레임(frame) 이 스위치 내의 큐에 존재할 때 우선순위가 낮은 큐보다 높은 큐에서 먼저 전

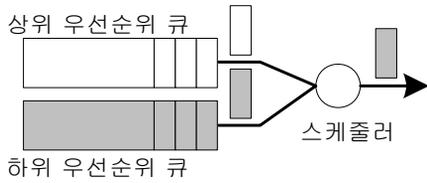


그림 1. 비선점형 전송에 의한 상위 우선순위 프레임의 전송 지연 문제
 Fig 1. Transmission delay of Frame with higher priority caused by non-preemptive transmission

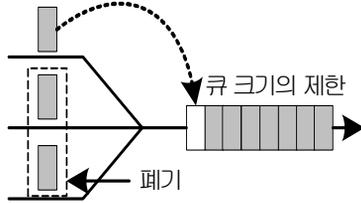


그림 2. 큐의 제한된 크기에 의한 동일한 우선순위의 동시 수신 프레임 손실
 Fig 2. Loss of same receiving frame with a priority casued by limited queue length

송을 할 수 있다. 하지만 그림 1과 같이 비선점형 전송으로 인하여 하위 우선순위를 가지는 일반 프레임에 의하여 상위 우선순위 프레임, 즉 실시간 프레임이 전송이 지연될 수 있다.

스위치에 동시에 도착되는 프레임의 경우 그림 2와 같이 스위치 내의 제한된 큐 크기에 의해 도착한 프레임 중 일부가 손실될 수 있다. 손실되는 프레임이 비실시간 프레임일 경우 큰 문제가 되지 않지만 실시간 프레임일 경우 큰 지터(jitter)를 가질 수 있으므로 큰 문제가 된다.

전송 홉 수가 증가될수록 그림 3과 같이 실시간 트래픽의 전송이 지연될 가능성이 높아진다. 전송지연이 커지는 이유는 그림 1과 같은 비선점형 통신에 따른 하위 우선순위 프레임의 영향이나 그림 2와 같은 똑같은 우선순위를 가지는 프레임 간에

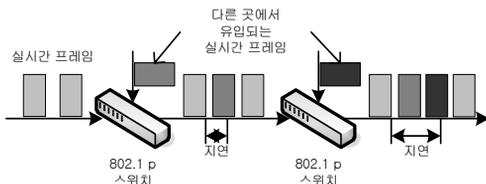


그림 3. 홉 수의 증가에 따른 실시간 트래픽의 전송 지연 문제
 Fig 3. Transmission delay of synchronous traffic caused by increasing hop count

전송 경쟁에 따른 지터가 누적되어 전송 지연이 커질 수 있다. 따라서 실시간 트래픽을 위하여 부적당한 구조이다.

IEEE 802.1p 인터넷 규격은 위에서 제시된 세가지 문제에 의해 실시간 트래픽을 위해 부적합하다. 따라서 각각의 목적에 맞는 실시간 트래픽의 전송을 위해 여러 가지 방법이 제안되었다. 디지털 멀티미디어 데이터를 전송하기 위한 동기식 인터넷과는 다른 목적으로 사용되는 기술을 다음 절에서 설명하도록 한다.

2.2 실시간 트래픽 처리를 위한 다른 방법

산업용 인터넷은 산업 환경에서 비실시간 트래픽과 함께 시간에 매우 민감한 실시간 트래픽을 동시에 지원해 주기 위해 등장한 인터넷 기술이다. 즉 세계의 네트워크 시장의 80% 이상을 점유하고 있는 인터넷 기술을 산업 현장에 맞추어 적합하게 사용할 수 있도록 만든 인터넷 기술을 말한다. 산업용 인터넷에도 여러 가지 방법이 존재하지만 Profinet V3 (Version 3)가 표준으로 제정되어 널리 사용되고 있다^{6,7)}.

이 Profinet V3는 현재 자동화 시스템의 사용자 요구 조건 및 표준 인터넷 기반 위에 Profibus International이라는 중립적인 협회에 의해 주창된 산업용 네트워크이다. 표준 TCP/IP와 IT 기술을 사용할 수 있고, 산업용 인터넷이 갖추어야 할 모든 요소를 가지고 있다. Profinet에서는 산업용 인터넷에서 꼭 필요한 실시간 성능을 보장하며, 현재 사용하고 있는 필드 버스 시스템과 완벽히 연결될 수 있다. Profinet 에서 전송 사이클 구조는 그림 4 와 같다.

Profinet에서는 전이중 100Mbps 인터넷 상에서, 실시간 트래픽을 위해 1ms의 사이클과 1μs의 지터를 보장하며, 이를 위해 전용 ASIC(Application Specific integrated circuit)를 사용한다. 위에서도 언급했듯이 그림 4에서와 같이 전송 지연에 매우 민감한 실시간(IRT: Isochronous Real-time) 트래픽

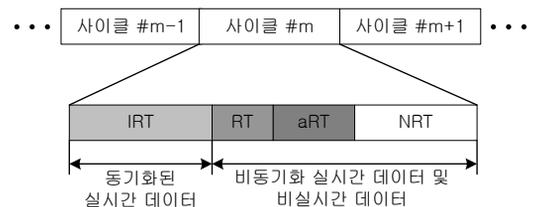


그림 4. Profinet의 사이클 구조
 Fig 4. The cycle structure of Profinet

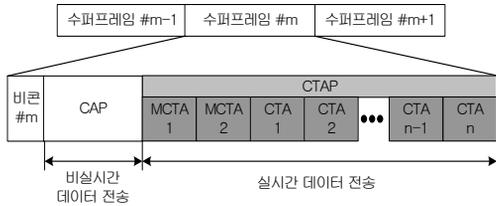


그림 5. IEEE 802.15 WPAN의 슈퍼프레임 구조
Fig 5. The superframe structure of IEEE 802.15 WPAN

과 주기적으로 보내줘야할 실시간(RT:Real-time) 트래픽, 비주기적인 실시간(aRT:acyclic Real-time) 트래픽, 그리고 비실시간 트래픽까지 한 사이클 내에서 동시 지원이 가능하다.

또 다른 기술로는 IEEE 802.15 WPAN은 비교적 짧은 거리의 무선 네트워크 통신을 위해 만들어진 표준이다^[8]. PDA, MP3 player 등과 같이 휴대가 가능하고 이동성이 있는 장치들이 근처에 있는 다른 장치들과 무선으로 통신하기 위해 제정되었다. 대표적인 기술로는 블루투스(Bluetooth)가 있다. 이 기술은 2.4Ghz의 통신 대역을 사용하므로 동일 대역을 사용하는 IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Network)과 상호 간섭을 일으킬 수 있다. IEEE 802.15 WPAN의 슈퍼프레임의 구조는 그림 5와 같다.

이 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.15 WPAN은 일정 주기로 반복되는 사이클과 동일한 의미의 슈퍼프레임을 통하여 데이터를 전송한다. 슈퍼프레임은 그림 5와 같이 비콘 프레임을 전송하는 비콘 구간, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)방식으로 동작하여 비실시간 데이터를 전송할 수 있는 경쟁 접근 구간 (CAP: Contention Access Period), 시분할 다중 접근 방식(TDMA: Time Division Multiple Access)으로 동작하여 데이터를 전송할 수 있는 채널 시간 할당 구간(CTAP: Channel Time Allocation Period)으로 구성된다.

이 방법으로 IEEE 802.15 WPAN의 두 구간에서 각각 비실시간 트래픽과 실시간 트래픽을 처리할 수 있다. 즉, 경쟁 접근 구간에서는 비실시간 트래픽을 처리하고 채널 시간 할당 구간에서는 실시간 트래픽을 처리한다. 이를 통하여 한 슈퍼프레임 내에서 비실시간 및 실시간 트래픽을 동시에 지원할 수 있는 것이다.

IEEE 1394는 주변기기를 컴퓨터에 연결하는 고속의 시리얼 버스 입출력 기술로 원래는 애플사

에서 개발하였고, 현재 산업의 표준이 되고 있다. 기존에 개발되었던 어떠한 주변기기의 표준보다 빠른 표준의 하나이기 때문에 이를 이용하여 캠코더나 대용량의 하드디스크, 프린터와 같이 실시간 데이터 전송이 필요한 멀티미디어용 주변기기의 연결에 널리 사용되고 있다.

IEEE 1394는 125 μ s의 사이클 내에서 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 전송이 가능하다. 실시간 트래픽은 실시간 채널을 이용하여 전송하고 비실시간 트래픽일 경우 사이클 내에 비실시간 패킷을 전송하는 구간에서 전송한다. 하지만 1절에서의 문제와 더불어 사이클의 시작 시간이 최대 50 μ s 내에서 가변적인 문제가 있다.

III. 동기식 이더넷의 동기화 방법 및 예약 방법

3 장에서는 OPNET 에서 동기식 이더넷을 구현하기에 앞서 IEEE 802.1 AVB TG의 세가지 주요 논의 과제 중 장치들 간의 동기화 방법과 대역폭 예약 방법에 대하여 제안한다.

3.1 장치 간의 동기화 방법

IEEE 802.3 이더넷은 전송 중에 지터나 원더(wander)의 고려없이 수신측에서 프레임의 프리앰블(preamble)의 정보를 추출하여 장치의 동기를 맞춘다^[3]. 따라서 실시간성을 유지해야 하는 장치들에는 정확한 동기를 보장할 수 없다. 지터는 이상적인 시간으로부터 누적되지 않은 짧은 기간 동안의 변화량을 의미하고 원더는 지터보다 긴 기간 동안의 변화량을 의미한다^[10]. 트래픽의 양에 의한 지연이 아니라 예측하지 못한 전송 지연은 이 지터와 원더의 합으로 나타내고 일반적으로 둘을 지터라 통칭한다.

전송 지연의 양, 즉 지터와 원더의 양을 나타낼 때는 MTIE(Maximum Time Interval Error)를 이용한다. MTIE는 관측 구간에서 기준 시간과 현재 관측되는 신호의 차이 중에서 최고값과 최저값의 차이(peak-to-peak), 즉 최대 오차와 최소 오차의 차이의 최대 값이다. MTIE는 식 (1)로부터 구해진다.

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

, where $n = 1, 2, \dots, N - 1$ (1)

MTIE는 전체 구간 N에서 단위 시간 구간 n동안 τ_0 의 간격으로 샘플링 했을 때 최대 오차가 발생한

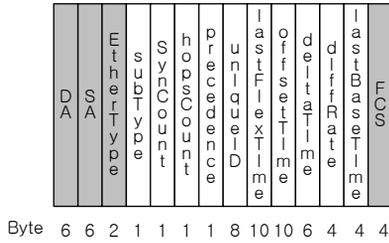


그림 6. Timesync 프레임의 구조
Fig 6. The structure of TimeSync frame

x(i) 에서 최소 오차가 발생한 x(i) 를 뺀 값 중에서 가장 큰 값이 된다. x(i) 는 i 번째의 위상 오차의 샘플 값을 나타낸다. 실시간 트래픽을 음성 데이터와 동영상 데이터로 구분 지었을 때, 음성 데이터인 경우에 ±10µs 내의 지터만 허용이 된다. 그리고 동영상 데이터인 경우에는 ±80ms 내의 지터가 허용된다^[11].

동기식 이더넷에서 실시간 트래픽이 요구하는 지터 허용치를 만족시키기 위해서 LAN 내의 장치들은 하나의 클럭을 중심으로 동일한 ToD(Time-of-Day) 정보를 유지해야 한다. 이를 위해서 IEEE 1588을 바탕으로 하여 좀더 그 절차를 간소화한 동기화 방법을 이용한다. 장치간의 동기 정보를 주고받기 위해서 그림 6과 같은 TimeSync 프레임을 사용한다^[12].

LAN 내의 장치들에 하나의 ToD 정보를 제공하는 노드 즉, GCM(Grand Clock Master)은 TimeSync 프레임의 precedence 필드와 uniqueID 필드를 통해서 선정된다. Precedence 필드는 TimeSync 프레임을 전송한 노드의 우선순위를 나타내고, uniqueID는 MAC 주소와 마찬가지로 LAN 내에서 노드의 유일한 식별자를 나타낸다. GCM은 IEEE 1588의 마스터 클럭과 같은 동작을 수행하는 노드이다. 그리고 동기 정보의 전달을 위해서 자신의 시간 정보를 나타내는 lastFlexTime 필드, 전송 시간을 나타내는 deltaTime 필드를 이용한다.

동기화 과정 중 그 첫 번째는 TimeSync 프레임을 이용하여 GCM을 선정하는 것이다. GCM을 선정할 때, 네트워크 초기 설정 과정에서 실시간 트래픽을 송신하거나 수신하는 노드들은 TimeSync 프레임을 멀티캐스트 한다. 각 노드들은 다른 노드가 전송한 TimeSync 프레임을 수신하게 되고, precedence 필드를 통해 자신의 우선순위와 수신된 TimeSync 프레임에 설정된, 즉 TimeSync 프레임을 전송한 노드의 우선순위와 비교한다. 자신의 우선순위가 수신된 precedence 보다 낮다면 더 이상

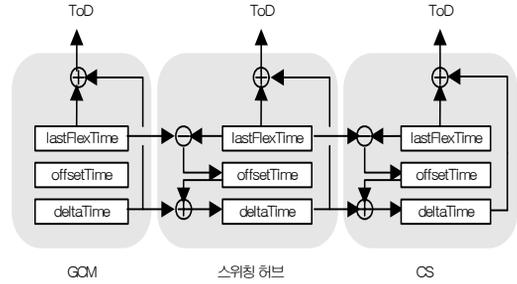


그림 7. ToD 동기화 과정
Fig 7. ToD synchronization process

GCM 선정 과정에 참여하지 않게 된다. 또 우선순위가 LAN 내에서 가장 높은 노드 중 uniqueID 필드에 설정된 값이 가장 낮은 노드가 GCM으로 결정된다. 이렇게 설정된 GCM은 10ms 주기로 TimeSync 프레임을 통해 ToD 정보를 멀티캐스트 하고 LAN 내의 다른 노드들은 이 정보에 동기를 맞춘다.

수신한 TimeSync 프레임의 정보를 분석하여 그림 7과 같은 방법으로 동기화 된다.

GCM은 자신의 시간 정보이자 ToD 정보를 lastFlexTime 필드에 싣고, ToD 값과의 차이 값, 즉 0을 deltaTime 필드에 기록하여 TimeSync 프레임을 송신한다. 이를 수신한 스위치는 ToD 정보에 동기화 되기 위해 식 (2)를 이용해 lastFlexTime 필드를 읽어서 오프셋 값을 계산한다. 또 계산된 오프셋을 이용하여 식 (3)을 통해 자신의 전송 시간을 구하고 식 (4)와 같이 ToD 값에 동기를 맞추게 된다. 식 (2)~(4) 에서 rcv는 수신받는 노드의 각 값들을 의미하고 xmt는 수신한 프레임, 즉 송신 노드의 값들을 의미한다.

$$rcv_offsetTime = xmt_lastFlexTime - rcv_lastFlexTime \quad (2)$$

$$rcv_deltaTime = xmt_deltaTime + rcv_offsetTime \quad (3)$$

$$rcv_ToD = rcv_lastFlexTime + rcv_deltaTime \quad (4)$$

ToD 값에 동기화가 완료된 후, 해당 스위치는 다른 노드들로 자신의 lastFlexTime 값과 deltaTime 값을 TimeSync 프레임을 통해 송신한다. 이를 수신

한 단말 노드 또는 다른 스위치들도 식 (2)~(4)를 이용하여 자신의 시간 정보를 ToD 값으로 변경한다. 이런 과정을 10ms 주기로 반복하여 LAN 상의 모든 장치가 하나의 ToD 값을 유지하도록 한다.

3.2 실시간 트래픽을 위한 대역폭 예약 방법

TimeSync 프레임을 이용하여 동기화가 이루어진 동기식 이더넷 망에서 실시간 트래픽의 QoS를 보장해 주기 위해 대역폭 예약 절차가 필요하다. IEEE 802.1 AVB TG는 대역폭을 예약하는 방법으로 SRP를 이용한다. 하지만 본 논문에서는 대역폭을 예약하기 위한 방법으로 송신측의 주도로 대역폭을 예약하는 방법을 제안한다.

SRP는 LAN 상에서 트래픽의 특성에 따라 QoS를 보장해 주기 위한 방법이다. 이 방법은 송신 노드가 실시간 트래픽을 보낼 예정이라는 것을 알리고 이를 수신한 수신 노드에서 대역폭 예약을 요청하며 송신 노드는 다시 승낙 여부를 전송하는 3단계로 이루어진다. 따라서 예약 과정에서 불필요한 부하가 발생할 수 있다. 수신측 주도의 대역폭 예약 방법의 부하 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 송신측 주도의 대역폭 예약 과정은 그림 8에 나타난다.

실시간 트래픽을 발생할 송신 노드는 요청하는 대역폭을 기술한 예약 요청 프레임을 수신 노드로 전송한다. 이는 송신 노드에서 수신 노드로의 중간 노드인 스위치에 먼저 도착하게 되고, 스위치는 요청한 대역폭을 확보할 수 있는지 여부를 판단한다. 스위치는 요청한 대역폭을 확보할 수 있을 때는 해당 요청 프레임을 수신 노드로 전송하고 만약 확보

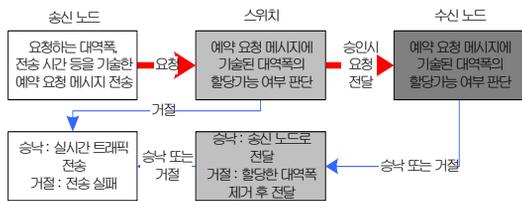


그림 8. 송신측 주도의 대역폭 예약 과정
Fig 8. Transmitter initiated bandwidth reservation process

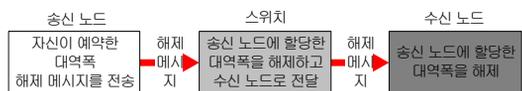


그림 9. 대역폭 예약 해제 과정
Fig 9. A release process of reserved bandwidth

6 bytes	DA
6 bytes	SA
2 bytes	EtherType
4 bits	ISO Version
12 bits	Reserved
7 bits	Session ID
1 bit	Response
1 byte	Command
18 bytes	Parameters
4 bytes	FCS

그림 10. SDMP 프레임의 구조
Fig 10. The structure of SDMP frame

할 수 없으면 예약 거절 프레임을 송신 노드로 전달하게 된다. 대역폭 예약 요청 프레임이 수신 노드에 도착하면 수신 노드도 마찬가지로 대역폭의 확보 가능 여부를 판단하고 승낙 또는 거절 프레임을 송신 측으로 전송한다. 경로 상의 스위치는 예약 요청 승낙 프레임인 경우에는 송신 노드로 전달하고 예약 요청 거절 프레임인 경우에는 할당해 둔 대역폭을 해제하고 송신 노드로 전달한다. 응답 프레임을 수신한 송신 노드는 승낙된 경우에는 실시간 트래픽의 전송을 개시하고, 거절된 경우에는 실시간 트래픽의 전송을 취소하게 된다.

대역폭 예약 요청과 마찬가지로 대역폭 예약 해제도 그림 9와 같이 송신측의 주도로 이루어지게 된다. 송신 노드는 자신이 예약해 두었던 대역폭에 대한 해제 프레임을 수신 노드로 전송하게 된다. 대역폭 해제 프레임을 수신한 경로 상의 스위치는 송신 노드에서 예약한 대역폭을 해제하고 대역폭 해제 프레임을 수신 노드로 전달한다. 대역폭 해제 프레임을 수신한 수신 노드도 마찬가지로 송신 노드에서 예약한 대역폭을 해제하는 것으로 대역폭 해제 과정은 완료된다. 이 과정은 대역폭 요청 과정과는 다르게 별도의 응답은 필요하지 않다.

실시간 트래픽을 위한 대역폭 예약 요청이나 예약된 대역폭의 해제를 위해서 이더넷을 위한 2계층 프레임 외에 추가적인 예약 프레임이 필요하다. 예약을 위한 프레임은 동기식 이더넷의 표준화에 참여 중인 기업인 파이오니어 & 김슨(Pioneer and Gibson)사의 SDMP(Synchronous Data Management Protocol) 프레임을 이용한다¹³⁾.

SDMP 프레임의 구조는 그림 10과 같다. Session ID 필드는 실시간 트래픽을 발생시키는 애플리케이션의 세션 구별자를 표시한다. Response 필드는 해당 프레임이 요청에 대한 응답인지 여부를 나타내는 필드로 0일 경우 요청, 1일 경우에는

응답임을 나타낸다. Command 필드는 해당 SDMP 프레임의 명령, 즉 예약 요청인지 예약 해제인지를 기록하고 Parameters 필드는 Command 필드에서 필요한 매개변수를 나타낸다. 예를 들어, Session ID 필드에 100, Response 필드에 1, Command 필드에 "예약 요청"에 해당하는 태그, Parameters 필드에 "거절"에 해당하는 태그가 입력된 SDMP 프레임임을 가정하자. 이 SDMP 프레임은 100번 구별자를 가지는 애플리케이션에서 실시간 트래픽을 발생시키기 위해 예약 요청 프레임을 수신 노드로 전송하였고, 이를 수신한 수신 노드가 보낸 거절 응답 프레임임을 나타낸다.

IV. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 모델

그림 11은 OPNET을 통하여 진행한 시뮬레이션 모델의 전체적인 네트워크 토폴로지를 나타낸다. 네트워크를 구성하는 요소로는 각각의 이더넷 주소를 가지는 12개의 단말 노드와 프레임의 전달을 담당하는 3개의 스위치로 구성된다. 단말 노드에서는 장치간의 동기 확보를 위한 TimeSync 프레임과 실시간 트래픽을 위한 대역폭 확보의 목적으로 SDMP 프레임을 송신한다. 또한 실제 데이터를 가지는 실시간 프레임과 비실시간 프레임을 생성하여 송신하고 수신하는 역할을 한다.

단말 노드에서 송신한 각 프레임들은 중간 노드인 스위치를 통해서 목적지를 향하여 전달된다. 스위치는 이더넷 프레임에 저장된 수신 주소를 살펴보고 자신의 전달 테이블과 비교하여 해당하는 포트로 프레임을 전달하는 역할을 수행한다. 또 단말 노드에서 송신한 프레임이 TimeSync 프레임인

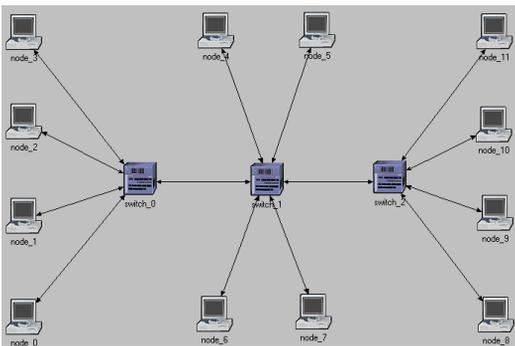


그림 11. 시뮬레이션 모델의 네트워크 토폴로지
Fig 11. A network topology of simulation model

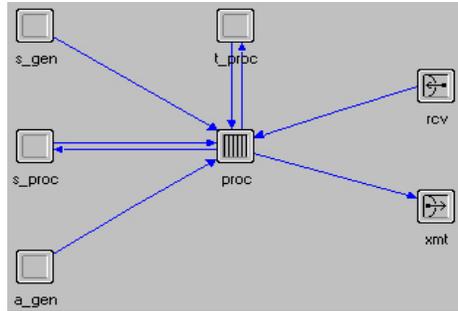


그림 12. 단말 노드 모델
Fig 12. Terminal node model

경우 자신의 시간 정보를 수신한 TimeSync 프레임에 따라 조절하여 네트워크를 하나의 시간으로 동기화하는 작업에도 참여한다.

단말 노드 모델의 모습은 그림 12과 같다. 단말 노드는 각 1개씩 송신기와 수신기가 있어 양방향 이중 통신이 가능하다. 중앙에 위치한 proc는 2계층의 MAC 역할을 하는 프로세서로 사이클을 관리하여 송신 시점을 결정하고 외부로부터 받아들이는 트래픽을 상위 프로세서로 전달하는 중요한 역할을 한다. 표 1을 통해 단말 노드의 프로세서 구성과 기능을 설명한다. OPNET에서 각 프로세서별 처리는 유한 상태 기계 (Finite State Machine) 형태를 사용하여 프로토콜 및 여러 작업을 처리할 수 있다. 각 상태는 상태 천이 조건에 따라 조건 상태와 무조건 상태로 나눌 수 있고, 모델 개발자에 의해 C 코드로 작성된다. 상태의 천이는 이벤트 함수를 이용하며 이는 개발자의 필요에 의해 발생되거나 OPNET 시스템에 의해 발생한다.

표 1. 단말 노드 내부의 프로세서 모델의 구성과 기능
Table 1. Composition and functions of all processor model within terminal node

프로세서 모델	기능
proc	이더넷 프레임의 캡슐화/역캡슐화하여 송신기 또는 상위 프로세서로 전달
t_proc	동기 정보의 생성 및 전달 또는 동기 작업 처리
s_gen	실시간 트래픽의 대역폭 확보를 위한 SDMP 프레임 생성 및 송신
s_proc	SDMP 프레임과 실시간 프레임의 수신 및 예약 요청에 대한 응답 프레임 송신
a_gen	비실시간 트래픽의 발생 및 송신
송신기	proc에서 받은 이더넷 프레임을 외부로 송신
수신기	외부로부터 받은 이더넷 프레임을 proc으로 전달

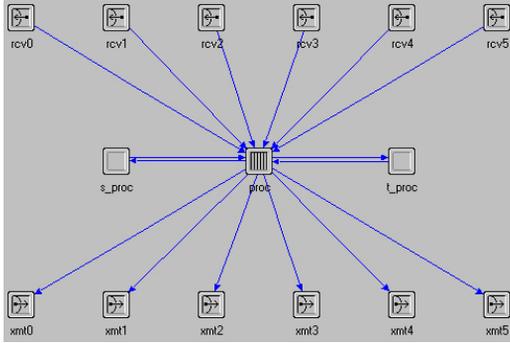


그림 13. 스위치 노드 모델
Fig 13. Switch node model

표 2. 스위치 모델 내부의 프로세서 모델의 구성과 기능
Table 1. Composition and functions of all processor model within switch node

프로세서 모델	기능
proc	이더넷 프레임의 캡슐화/역캡슐화하여 송신기 또는 상위 프로세서로 전달
s_proc	SDMP 프레임 처리
t_proc	TimeSync 프레임 처리
송신기	proc에서 받은 이더넷 프레임을 외부로 송신
수신기	외부로부터 받은 이더넷 프레임을 proc으로 전달

동기식 이더넷의 중간 노드인 스위치 노드 모델을 그림 13를 통해 나타낸다. 스위치는 각각 6개의 송신기와 수신기를 통하여 단말 노드의 점대점 연결을 위한 중간 노드 역할을 수행한다. 단말 노드와 마찬가지로 중앙에 위치한 proc 프로세서 모델이 전달 테이블을 관리하여 목적지로의 경로를 기억하고 전달하는 중요한 역할을 수행한다. 스위치 노드 모델의 각 프로세서의 역할을 표 6에서 설명한다.

4.2 실험 결과 분석

이 절에서는 동기식 이더넷 모델을 OPNET을 통하여 실험하고 그 결과를 기술한다. 스위치는 이미 학습을 통하여 목적지로 가기 위한 전달 테이블을 모두 만들어 두었다는 가정을 하고 실험을 진행하였다. 단말 노드와 스위치는 동기가 맞기 전에 비실시간 트래픽만을 전송하였으며, 동기화가 이루어진 후에는 125 μs의 주기를 가지는 사이클을 반복하여 프레임을 전송하였다. 이러한 조건하에서 망의 성능 측정을 위해 단대단 지연 시간, 각각의 큐 크기를 측정하여 그 결과를 분석하였다. 시뮬레이션에서 설정한 이더넷 기반의 네트워크 변수를 표 3을 통해 나타낸다.

표 3. 네트워크 매개 변수
Table 3. Network parameters

매개 변수	적용
망 속도	1Gbps
최소/최대 프레임	576/12208 bits
실시간 트래픽 서비스 시간	지수 분포
실시간 프레임 크기	6440 bits
비실시간 프레임 크기	파레토 분포
비실시간 프레임 간격	균등 분포

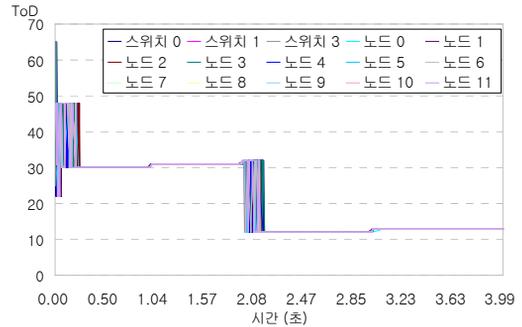


그림 14. 시간 동기화의 성능 측정
Fig 14. Performance measurement of time synchronization

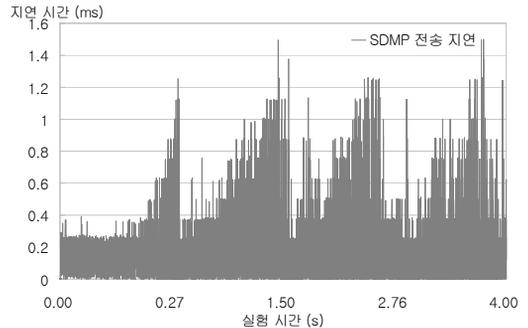
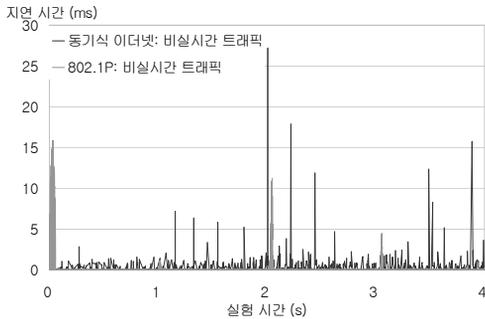


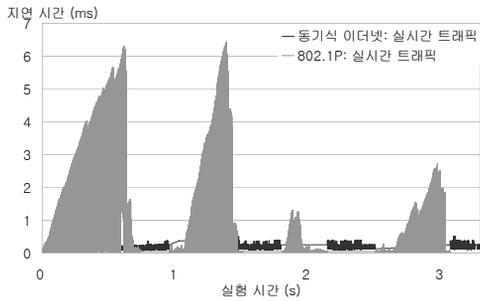
그림 15. SDMP 프레임의 전송 지연
Fig 15. Transmission delay of SDMP frame

그림 14는 본 논문에서 제안하는 동기식 이더넷의 동기화 방법을 이용하여 장치들이 동일한 ToD 값으로 동기화가 이루어지는 결과를 보인다. GCM과의 홉 수의 차이 때문에 GCM 선정 시 약간의 차이는 있지만 동기화가 진행된 후 250ms 내에 모든 장치가 동일한 ToD 값을 가지는 것을 확인하였다. 또 2초에 새로운 GCM이 선정된 경우에도 변경된 ToD 값으로 동기가 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 15를 통해 실시간 트래픽을 위한 대역폭 예



(a)



(b)

그림 16. (a) 비실시간 트래픽의 전송 지연 시간 (b) 실시간 트래픽의 전송 지연시간
Fig 16. (a) Transmission delay of non-synchronous traffic (b) Transmission delay of synchronous traffic

약 방법의 성능을 측정하기 위해 SDMP 프레임의 전송 지연을 보인다. SDMP 프레임은 대역폭 예약 요청, 응답 및 예약된 대역폭 해제를 위해서 필요한 프레임이다. 따라서 안정적인 예약을 위해 SDMP 프레임의 빠른 전송이 꼭 필요하다. 본 논문에서 제안한 전송 방법으로 제어 구간을 마련해 둬으로써 그림 15와 같은 결과를 나타내었다. SDMP 프레임의 전송 지연 시간이 평균 0.5ms를 가졌고, 최악의 경우에 1.5ms 정도의 전송 지연을 보였다. 따라서 예약 요청의 경우에 요청하는 순간부터 최악의 경우 3ms 내에 예약 응답까지 수신할 수 있으므로 빠른 예약이 가능한 것을 보여준다.

본 논문에서 제안한 방법을 이용한 동기식 이더넷의 성능 평가를 위해 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽에 대한 전송 성능을 측정하였다. 실험은 실시간 트래픽에 높은 우선순위를 부여하여 전송하는 802.1P 이더넷과의 전송 지연과 비교하여 진행하였다. 그림 16을 통해 그 결과를 보인다.

비실시간 트래픽의 전송 지연 시간은 802.1P 방식에 비해 더 높다는 것을 그림 16(a)에 나타내었다. 이는 사이클의 구간을 세 부분으로 나누어서 전송이 이루어지고 사이클의 남은 구간을 조사하여 전

송 대기 중인 프레임보다 더 짧다면 다음 사이클로 전송이 지연되기 때문이다. 하지만 전송 지연 시간에 매우 민감한 실시간 트래픽인 경우에 802.1P에 비해 더 우수한 성능을 나타내는 것을 그림 16(b)를 통해 확인할 수 있었다. 동기가 맞춰진 후 동기화 따라 모든 장치가 동작하고 전송 사이클 중에 보낼 수 있는 구간을 예약하여 전송하기 때문에 그림 16(b)와 같은 0.5ms 미만의 전송 지연을 나타내었다.

V. 결론

실시간 트래픽을 발생시키는 장치들이 점차 증가함에 따라 이들 장치를 공통된 네트워크로 연결시키는 방법이 고려 중이다. 이를 위한 네트워크 기술로 LAN 시장의 80 % 이상을 차지하고, 확장성, 유연성, 가격 면에서 우수한 이더넷이 적합하다. 이러한 추세에 맞추어 IEEE 802.1 AVB TG에서 이더넷에서 장치 간의 동기화 방법, 실시간 트래픽의 대역폭 확보를 위한 예약 방법, 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 효과적인 전송 방법에 초점을 두고 동기식 이더넷 기술의 표준화를 진행 중이다.

본 논문에서는 표준화가 진행 중인 동기식 이더넷 망에 IEEE 802.1 AVB TG의 세가지 주요 논의 과제를 구현하였다. 장치 간의 동기화 방법으로는 IEEE 1588의 규격을 이용한 동기화 방법을 사용하였다. 대역폭 예약 방법으로는 SRP와는 달리 송신 측 주도의 대역폭 예약 방법과, 효과적인 각 트래픽 전송 방법으로 대역폭을 슈퍼프레임 주기로 분할하고 이 슈퍼프레임 내에서 구간 별로 트래픽을 처리하는 방법을 제안한다. OPNET 에서 세가지 방법을 적용한 동기식 이더넷의 실험 결과를 통해 실시간 트래픽을 위해 동기식 이더넷이 좋은 방법이 될 수 있음을 증명하였고 본 동기식 이더넷 모델은 실제 장비를 설계하는데 좋은 참고 자료가 될 것이다.

본 논문에서는 실시간 트래픽을 위해 하나의 실시간 프레임을 사용하였지만, 음성, 동영상 등의 각 트래픽의 특성에 맞게 유동적으로 예약할 수 있는 방법의 연구가 더 필요하다. 그리고 더 많은 상황에서의 실험과 분석을 통해 효율적인 임계치를 조절하는 것도 중요한 연구 과제가 될 것이다.

참고 문헌

- [1] IEEE Standard for a High Performance Serial Bus-Amendment1, *IEEE Std. 1394a*,

- Mar. 2000.
- [2] 윤중호, 조재현, 오운제, 황성택, 주영훈, “이더넷 기반 전달망 기술과 전송품질보장을 위한 동기식 이더넷 기술,” *한국통신학회 제 22 권 12호*, pp. 33-49, Dec. 2005.
 - [3] Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) access method and Physical layer specifications, *IEEE Std. 802.3*, Oct. 2000.
 - [4] <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>, *IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group Home Page*.
 - [5] IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks virtual bridged local area networks, *IEEE Std. 802.1Q*, May. 2005.
 - [6] Application Layer Services for Decentralized Periphery and Distributed Automation, *PROFINET IO Specification*, Version 2.1, Jun. 2006.
 - [7] <http://www.profinet.com/pn/>, PROFINET Home page.
 - [8] Part 15.1: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs), *IEEE Std. 802.15.1*, Jun. 2005.
 - [9] General Aspects of Digital Transmission Systems, *ITU-T Recommendation G.701*, Mar. 1993.
 - [10] M. Garner, F. F. Feng, E. HS. Ryu, K. de n Hollander, “Timing and Synchronization for Audio/Video Application in a Converged Residential Ethernet Network,” *IEEE CCNC 2006*, Vol. 2, pp. 883-887, Jan. 2006.
 - [11] Residential Ethernet(RE) working paper, *Draft Version 0.143*, Mar. 2006.
 - [12] Synchronous Ethernet, *Specification Draft Version 0.39*, Oct. 2003.

김민준 (Min-jun Kim) 준회원



2005년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업
 2007년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2007년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사과정
 <관심분야> 동기식 이더넷, MPEG,

다시점 영상처리 등

엄종훈 (Jong-Hoon Eom) 정회원



1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
 1993년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2004년 8월 경북대학교 컴퓨터 공학과 박사
 1993년 3월~현재 KT 미래기술

연구소 수석연구원

<관심분야> 통신망 설계, FTTH, 실시간 이더넷, 메트로이더넷, 유무선 통합 등

권용식 (Yong-sik Kwon) 정회원



1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
 1993년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 1993년~현재 KT 미래기술 연구소 수석연구원

<관심분야> 유무선QoS망 관리 기술, 망운용관리, 실시간 이더넷, 무선랜 등

이정원 (Jung-won Lee) 정회원



2004년 2월 경성대학교 컴퓨터 과학과 졸업
 2006년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2006년 3월~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Residential Ethernet, MPEG, 감시시스템, 이미지 처리 등

김승호 (Sung-ho Kim) 정회원



1981년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
 1983년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
 1994년 2월 한국과학기술원 전산학과 박사
 1985년~현재 경북대학교 컴퓨터 공학과 정교수

<관심분야> 알고리즘, 멀티미디어, 다시점 동영상, 감시 시스템 등