

디지털 미디어를 연결을 위한 동기식 이더넷 기술

윤종호 (한국항공대학교), 오윤제, 고준호, 김상호, 조재현 (삼성전자)

I. 서론

DVD, 디지털 TV, 디지털 오디오 장치 등과 같은 실시간 트래픽을 생성하고 재생하는 디지털 미디어 장치들을 상호간에 연결하기 위한 기술로 현재 IEEE1394가 유일하게 사용되고 있다. 이 IEEE1394는 동기식 전송 뿐만 아니라 비동기 전송도 가능한 장점이 있다. 하지만, 이 IEEE1394는 인접한 기기들의 연결시에만 사용될 뿐 맥내의 각 방에 위치한 장치들간에 연결하기에는 문제가 있다. 또한, 기본적으로 모든 시스템이 하나의 공유 매체상에서 동작하기 때문에 어떤 장치가 망에서 분리되거나 새로 접속되는 경우, 전송 매체가 일시적으로 리셋되는 문제도 있다. 특히, 많은 사람들이 이더넷은 알지만 IEEE1394에 대해서는 잘 모르는 결정적인 시점관점에서의 취약점이 있다.

본 고에서는 최근에 발표된 100Mbps급 이더넷 기반의 음향기기 연결용 MAGIC기술에 영향을 받아 IEEE802.3 Residential Ethernet Study Group에서 표준화를 진행중인 새로운 디지털 미디어 연결용 동기식 이더넷 기술인

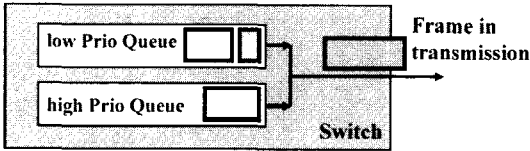
Residential Ethernet (ResE)기술 개요와 표준화 동향을 소개한다.

II. 기존 이더넷의 문제점

현재 이더넷은 기존의 CSMA/CD방식이 아닌, 점대점 연결로의 대표적인 전달수단을 간주되고 있기 때문에, 충돌에 따른 예측 가능하지 않은 지연시간 문제점은 발생하지 않는다. 따라서, IEEE802.1p방식을 사용한 스위치를 활용하여, 실시간 전송이 필요한 트래픽에 대해서는 다른 데이터 트래픽에 비하여 우선적으로 처리될 수 있도록 함으로써, 어느 정도의 QoS를 제공할 수도 있을 것이다. 하지만, 이러한 802.1p 방식은 다음과 같은 문제점이 있다.

- <그림 1>처럼, 전송중인 하위 우선순위의 일반 패킷에 의해 실시간 패킷의 전송 지연이 발생한다.
- 대역예약 기능이 없기 때문에, 과도하게 유입되는 실시간 패킷들간의 스케줄링에 의해 예측 가능하지 않은 지터가 발생한다.

- 다단 스위치로 연결되는 경우, 이러한 지터는 더욱 증가한다.



〈그림 1〉 Non-preemptive 지연문제의 예

예를 들어, 100 Mbps 전이중 링크를 사용하는 브리지의 경우, 총 6대의 실시간 단말이 생성하는 실시간 패킷의 길이가 200 바이트로 동일할 경우, 하나의 실시간 패킷이 겪는 지연시간은 다음과 같이 지연시간이 228usec로 계산된다.

- 16 us, store-and-forwards. (cut-through 스위치의 경우, 5.2usec)
- 10 us, minimum switch latency.
- 122 us, 최대 nonpreemptive 지연시간
- 80 us: 동일한 5개의 실시간 패킷 스케줄링 지연시간

이러한 이더넷의 문제점을 해결하기 위하여, 그 동안 여러가지의 시도가 있었다. 예를 들면, 이더넷 상에서의 TDMA기능을 제공하는 RTnet, Virtual Token을 사용하여 전송순서와 전송시간을 예약해서 사용하는 VTnet, 그리고, ISDN 지원용 IsoEthernet 등의 기술이 있다.

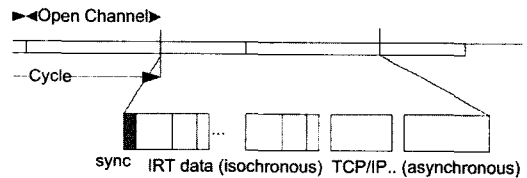
III. 유사한 동기식 전송방식

실시간 전송을 위한 MAC프로토콜로는 산업용 이더넷, 802.11무선 LAN, 802.15

WPAN, IEEE1394이 있으며, 이들은 모두 고정된 사이클과 슬롯기반의 수퍼프레임방식으로 동작한다. 본 장에서는 이러한 프로토콜들의 특징들에 대하여 분석한다.

1. 산업용 이더넷

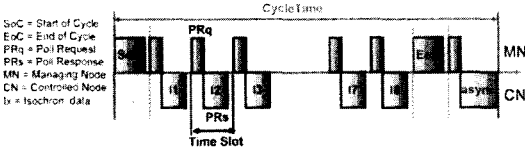
- Profinet Version 3 : 이것은 지멘스사에서 상용화한 이더넷 기반의 실시간 전송방식으로서, 전이중 100Mbps이더넷상에서, 1 ms 사이클, 1 μs 지터를 보장하며, 이를 위한 전용 ASIC을 사용한다. 특히, 〈그림 2〉와 같이, Isochronous Real Time(IRT) 트래픽과 non-RT트래픽을 한 사이클내에 동시에 전송할 수 있다.



〈그림 2〉 PROFINET의 사이클 구조

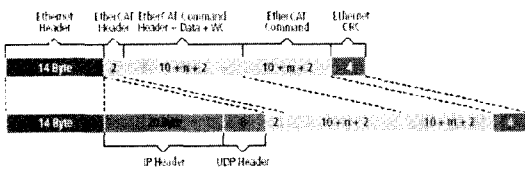
- Ethernet PowerLink(EPL) : 이것은 PFOFINET과 달리, 특별한 ASIC없이 기존의 이더넷 하드웨어를 사용하며, 허브를 중심으로 한 트리형태로 구성된다. 하나의 마스터가 여러대의 스테이블들을 정해진 타임슬롯마다 폴링하는 형식으로 동작한다. 각 사이클은 마스터가 전송하는 Start of Cycle메시지에 의해 개시되며, 실시간 전송구간에서는 마스터가 해당 슬레이브에게 폴 메시지를 전송함으로써, 실시간 전송구간이 동작한다. 이후, End of Cycle메시지를 전송하여 비

동기 구간이 개시됨을 알린다. 비동기 구간에서는 동기구간에서 미리 예약한 단말들에 대하여 폴링하여, 해당 비동기 패킷을 송신할 수 있도록 한다.



<그림 3> EPL의 타임슬롯 운영 예

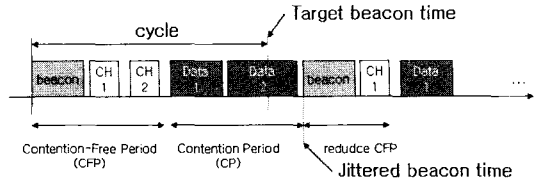
●EtherCAT (Ethernet for control automation technology) : 이것도 마스터/슬레이브관계로 폴 메시지를 사용하여 동작하며, 라우터를 경유해야 할 경우에는 UDP에 제어메시지가 수납되고, 그렇지 않으면, 직접 이더넷 페이로드에 수납된다.



<그림 4> EtherCAT의 프레임 구조

2. 802.11 무선 MAC

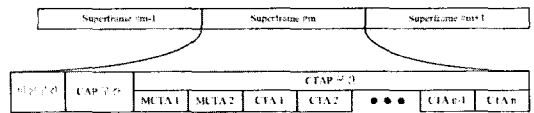
802.11무선 MAC에서도 <그림 5>와 같은 동기식 전송이 가능한 프레임구조를 가지고 있다. 하지만, 사이클의 시작시점이 비동기 패킷의 전송에 의해 지연될 수 있으며, 현재 이러한 동기전송을 지원하는 제품이 출시되지 않고 있다.



<그림 5> 802.11 PCF의 사이클 구조

3. 802.15 WPAN MAC

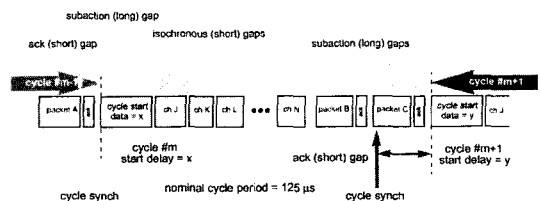
IEEE 802.15 WPAN은 일정 주기 간격으로 반복되는 수퍼프레임을 통하여 데이터를 전송한다. 수퍼프레임은 비콘 프레임을 전송하는 비콘 구간, CSMA/CA방식으로 동작하여 비실시간 데이터를 전송할 수 있는 CAP(Contention Access Period)구간, TDMA방식으로 동작하여 데이터를 전송할 수 있는 CTAP(Channel Time Allocation Period)구간으로 구성된다.



<그림 6> WPAN의 수퍼프레임 구조

4. IEEE1394의 동작

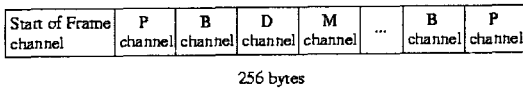
IEEE1394도 125usec의 사이클내에서 동기 채널과 비동기 패킷의 전송이 가능하다. 하지만, <그림 7>에서 알 수 있듯이, 사이클의 시작점이 최대 50usec내에서 가변적인 문제점이 있다.



<그림 7> IEEE1394의 사이클 구조

5. IsoEthernet

이것은 National Semiconductor사에서 Narrowband ISDN서비스와 비동기 이더넷 전송을 동시에 지원하기 위하여 여러 개의 슬롯으로 분할된 수퍼프레임을 이용하는 방법이다. 이것의 계층구조는 <그림 8>과 같이 일반 이더넷 프레임의 전송을 지원하기 위한 P채널외에, ISDN 제어용D채널, ISDN 동기 트래픽용 C채널을 제공한다. 이외에 96Kbps의 채널관리용 제어채널인 M채널이 125usec의 하나의 프레임에 제공된다.



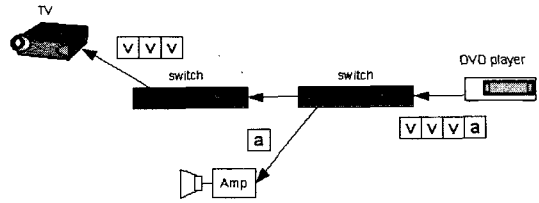
<그림 8> IsoEthernet프레임의 구성

IV. 실시간 이더넷을 위한 Time-of-day 동기

1. 개요

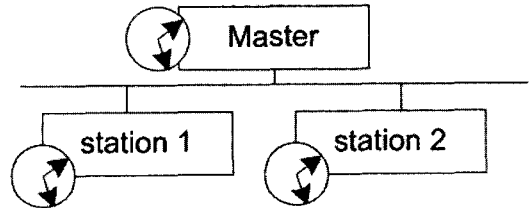
이더넷상에서 지터가 없는 실시간 응용의 전달을 위하여 비트동기 외에, 각 장치들이 하나의 house clock을 중심으로 동일한 time-of-day정보를 가지는 것이 권고된다. 왜냐하면, 산재되어 있는 장치들간에 시간정보가 일치하지 않는 경우, 예를 들어, 동일한 시각에 발생한 이벤트들이 중앙의 장치에 보고될 때 서로 다른 시각에 발생한 것처럼 보고될 경우, 이를 종합적으로 판단하여 제어하는 서버 입장에서는 서로 다른 시각에 발생한 것으로 잘못 판단할 수 있다. 또한, <그림 9>와 같이 A/V장치가 산재되어 있는 경우, 동일한 시각

정보가 제공되지 않는 경우, A/V장치간에 동기가 맞지 않을 수 있다.



<그림 9> Time-of-Day 동기의 필요성

따라서, 집안의 모든 장치들은 house clock이라고 하는 마스터 클럭과 동일한 시각에 맞춰있어야 한다.



<그림 10> House Clock에 동기된 슬레이브 클럭

이를 위한 타이밍 프로토콜에는 다음과 같이 RFC2030 Simple Network Timing Protocol (SNTP)와 IEEE1588 프로토콜이 있다. 이러한 프로토콜은 EPON시스템의 MPCP에서 사용되는 것과 유사하다. 타임동기설정시 고려되어야 할 사항은 전파지연시간과 마스터 클럭과의 윗셋이다.

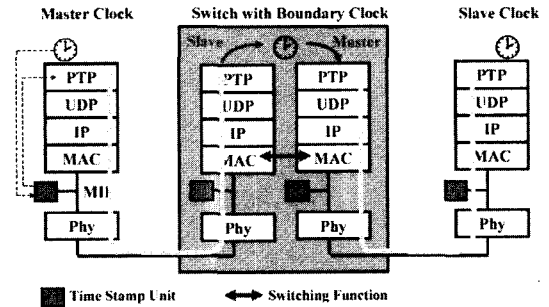
2. IEEE 1588

이것은 Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems표준으로서, 각 장치의 시계를 동일한 시각으로 동기화시키는 프로토콜이다. 이를 위하여, SNTP와 마찬가지로 윗셋

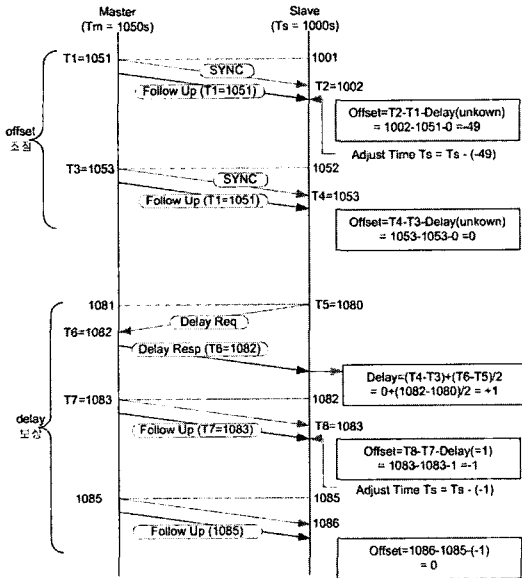
및 전파지연시간 조정절차를 위하여, delay request, delay response, Sync, Follow up 메시지 등을 사용한다.

절차는 <그림 11>과 같다. 마스터는 주기적으로 Sync메시지와 이어지는 Follow Up 메시지를 멀티캐스트한다. 이 Follow Up 메시지에는 Sync메시지의 전송시의 시간정보가 수납되어 있다. Slave는 Sync메시지의 수신시간과 Follow up메시지에 수납된 Sync메시지의 송신시간을 참조하여 마스터와의 시간차 윗셋을 계산한다. 하지만, 슬레이브는 아직까지 전파지연시간을 알지 못하므로, 이어서 지연시간을 알아내기 위하여 delay request메시지를 마스터에게 송신하여 이에 대한 응답을 이용하여 전파지연시간을 계산한다. 이후, 전파지연시간과 윗셋시간을 참조하여 마스터와 슬레이브간 시계를 일치시킨다.

이를 위하여 송신되는 PTP패킷은 UDP에 수납되어 전송되며, 수납되는 시각정보는 Preamble의 SFD영역의 마지막 비트가 전송될 때의 시각을 기준으로 한다. 이를 위하여, PTP메시지에 수납되는 타임스탬프는 PHY와 MAC사이에 위치한 MII에서의 프리앰블 송수신시간이 기록된다. 그리고, 마스터는 주기적으로 슬레이브에게 자신의 Sync/Followup 메시지를 멀티캐스트함으로써 동일한 시각에 동기되도록 한다.



<그림 12> 물리계층에서의 타임스탬핑



<그림 11> IEEE1588의 동작절차

V. Residential Ethernet

주기적으로 생성되는 데이터를 목적지 A/V장치에 최대한 지터없이 여러 개의 이더넷 스위치를 경유하여 전달하는 기술을 Residential Ethernet이라고 한다.

현재, 802.3표준화기구에서 진행중인 표준화 단계는 아직 구체적인 프레임 형식이나 사이클의 동작 등에 대하여 다루는 시점이 아니기 때문에 본 고에서는 김슨사의 슬롯 방식과 펄름링크사의 프레임 방식 등 두 가지의 방식에 대하여 비교한다. 참고로, 원래의 표준화 추진시의 기술이름은 Residential Synchronous Ethernet이었으나, 기존 스위

치 제조회사들이 Synchronous라는 용어에 거부감을 표시하여 이 용어가 생략되었다.

1. 스위칭 방식

동기 트래픽을 수납하는 이더넷 프레임은 스위칭 방식에 따라 다음과 같이 구분된다.

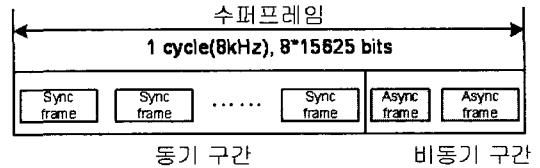
- 슬롯별로 스위칭하는 방식 : 4바이트짜리의 192개의 슬롯으로 구성된 동기 프레임에 대하여, 경로상의 각 스위치들을 슬롯별로 교환한다. 이때 슬롯을 수납한 프레임은 단순히 슬롯을 수납한 것이어서 직접 연결된 장치의 링크에서만 유효하다.
- 프레임별로 스위칭하는 방식 : 하나의 송신측 단말로부터 생성된 실시간 트래픽을 이더넷 프레임에 수납하여 목적지 장치로 동기구간에 전송되며, 경로상의 각 스위치들은 이 이더넷 프레임의 목적지 주소를 참조하여 다음 스위치나 목적지 장치로 직접 중계한다.

이러한 실시간 트래픽을 수납한 동기식 프레임은 이 프레임이 동기식 프레임을 표시하기 위하여 특별한 EtherType을 사용한다.

2. 수퍼프레임의 구성

동기식 이더넷은 100Mbps 및 1 Gbps급 전이중 이더넷 상에서 125usec 또는 이것의 n배의 주기를 가지는 한 사이클 내에서 이더넷 프레임에 수납된 동기 트래픽을 전송한다. 그리고 이러한 동기 프레임 전송이 사이

클 내에서 완료되면, 남은 기간 동안에 비동기 프레임들을 전송할 수 있다. 이러한 동기 트래픽과 비동기 트래픽이 전송되는 하나의 사이클을 수퍼프레임이라고 부른다. <그림 13>은 동기식 이더넷의 수퍼프레임의 구성을 도시한 것이다.



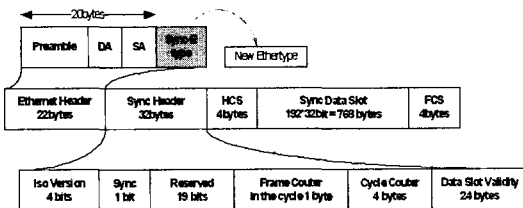
<그림 13> 동기식 이더넷의 수퍼프레임 구성

이 수퍼프레임의 시작은 명시적으로 표시되거나 묵시적으로 표시된다. 명시적인 방법은 첫 번째 동기트래픽 수납용 프레임의 동기 헤더에 있는 Sync 비트에 의해 알려지는데, 이 동기 헤더에는 이 사이클 내에 있는 동기 프레임의 개수, 여러 개의 동기 프레임에 걸쳐져 있는 동기 데이터 슬롯들의 유효성을 표시하는 비트열 등이 있다. 반면에, 묵시적인 경우는 모든 장치들이 시간적으로 동기되어 싸이클의 시작을 미리 알고 있다면 비 동기 구간이 종료된 후 최초로 수신되는 동기 프레임으로부터 수퍼프레임의 시작을 알 수 있도록 한다.

3. 동기 프레임의 구조

- 슬롯 방식의 프레임 구조 : 동기 프레임은 이더넷 헤더 22바이트, 동기 헤더 32바이트와 헤더 체크섬 4바이트, 4바이트의 동기 데이터 슬롯 192개, 프레임 체크섬으로 구성된다. 또한, 동기 헤더는 버전 정보 비트, Sync비트, 한 사이클 안의

동기 프레임 수를 나타내는 카운터, 사이클의 카운터, 데이터 슬롯의 유효성을 표시하는 비트와 예약 비트로 구성된다. 이더넷 헤더에는 동기 프레임을 나타내는 새로운 이더넷 타입을 사용한다. <그림 14>는 동기 프레임의 구조를 도시한 것이다.



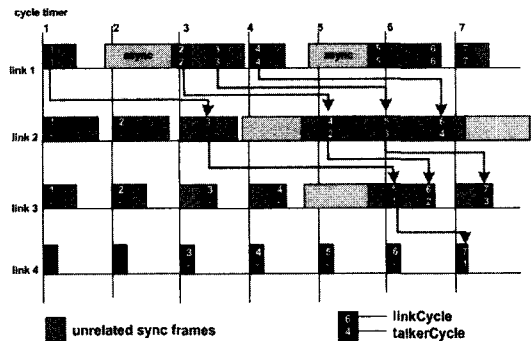
<그림 14> 슬롯 방식의 동기 프레임 구조

- 프레임 방식의 프레임 구조 : 별도의 추가 헤더 없이, 동기용 프레임임을 표시하는 EtherType만 사용된다.

4. MAC

- 슬롯방식의 MAC : 각 스위치는 수신되는 프레임의 EtherType으로부터 동기 프레임을 식별한 후, 페이로드에 수납된 슬롯의 위치에 기반하여 슬롯들을 해당 출력포트로 중계한다. 즉, 각 스위치들은 해당 슬롯의 위치에 기반한 슬롯 스위칭을 지원해야 한다. 이를 위한 슬롯 예약 및 해제 절차가 별도의 제어프로토콜에 의해 수행된다.
- 프레임방식의 MAC : 동기 프레임을 수신한 각 브리지는 패킷의 사이클 값을 2만큼 늘린 후 해당 포트의 송신큐에 저장한다. 이후, 해당 사이클이 되면, 최우선

적으로 저장된 패킷을 다음 브리지로 송신한다. 이 방식은 동기패킷에 대하여 각 홉마다 2사이클씩 지연시킴으로써, 최종 수신 단말에 도착할 때에는 등시성이 유지되도록 한다. <그림 15>에서, 동기 프레임은 7번째 사이클에 도착하고 있음을 알 수 있다. 이 방법의 장점은 등시성을 유지하는 반면에 종단간 지연시간이 큰 문제점이 있다.



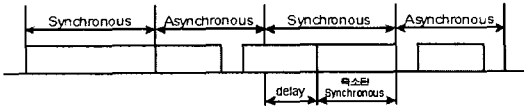
<그림 15> 프레임방식의 MAC동작

VI. 고려사항

1. 수퍼프레임 시작 시간의 지연

한 수퍼프레임의 비동기 구간에 비동기 프레임이 적어도 한 개 이상 전송될 수 있도록 하기 위해서 한 수퍼프레임 내의 동기 프레임의 개수는 사이클 내에서 75%이내로 제한된다. 이 경우, 비동기 구간 동안 최대 2153 바이트가 전송될 수 있다. 하지만, 비동기 구간에서 전송 중인 비동기 프레임에 의해 다음 수퍼프레임의 시작이 지연될 수 있는 문제점이 있다. 최악의 경우, 사이클의 지연시간은 최대 1518바이트의 전송 시간동안 지연될 수도 있다. 특히 이렇게 지연되는 경우,

다음 수퍼프레임의 동기 구간이 축소되는 문제도 발생할 수 있다. <그림 16>은 비동기 프레임의 지연으로 인해 다음 수퍼프레임의 시작이 지연되는 것과 이로 인해 동기 구간이 축소되는 것을 보여준다.



<그림 16> 수퍼프레임의 지연과 축소

2. 동기구간에서의 긴급한 비동기 프레임의 지연

동기식 이더넷의 경우, 긴급히 전송되어야 할 제어 프레임이나 OAM메시지의 전송은 동기구간에서 불가능하다. 이를 대비하여, 동기구간에서도 일부 비동기 트래픽의 전송이 가능하도록 일부 대역이 예약되어 있어야 한다.

3. 동기 프레임의 지연전송

각 동기트래픽은 지터를 보상하기 위하여, 각 스위치에서 1 싸이클 내지 2 싸이클의 전송지연이 불가피하다. 이러한 전송지연은 비동기 프레임과의 혼성전송을 위해 필요하지만, 너무 큰 지연은 피해야 할 것이다.

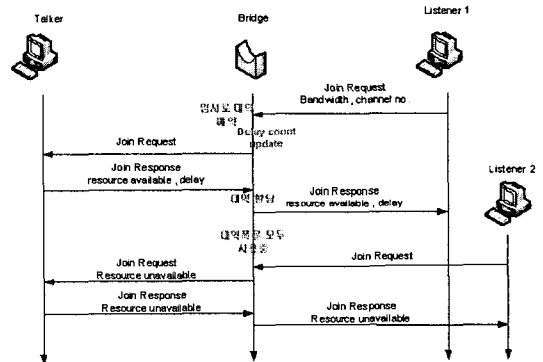
4. 최대 프레임 길이의 수용

현재, IEEE802에서 표준화가 진행중인 최대 MTU의 길이는 기존 1500바이트에서 2000바이트로 확장될 예정이다. 이 경우, 100Mbps급 이더넷에서는 125usec의 싸이클

내에 이러한 긴 프레임을 송신할 수 없기 때문에 싸이클의 변경이 필요하다.

5. 대역 예약 절차의 필요성

<그림 17>과 같이 동시성을 유지하기 위해서는 필수적으로 한 싸이클내에서 동기 트래픽이 overbooking되지 않도록 자원예약 과정을 수행해야 한다. 현재의 이더넷은 이러한 자원예약 프로토콜을 지원하지 않지만, RSVP와 유사한 링크계층에서의 자원예약 절차를 새로 도입해야 한다.



<그림 17> 자원예약 절차의 예

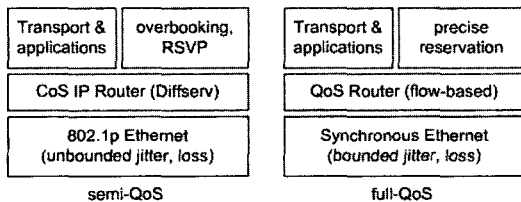
6. BcN망에서의 활용

현재의 인터넷은 QoS를 보장하지 않는 망이기 때문에 국내에서 구축하고자 하는 BcN의 기본 전달망으로 MPLS를 기반으로 하는 트래픽 엔지니어링 기법에 의한 방법이 고려되고 있다. 하지만, 이 방법이 과연 SONET과 같은 회선교환방식이 제공하는 QoS등급을 제공할 수 있는지에 대한 의문은 여전히 남아있으며, 이를 위한 제어 및 관련 구성요소가 많이 소요되는 문제가 있다.

반면에, IEEE802.3에서 진행 중인 Residential 이더넷 기술은 기본적으로 회선 교환 및 패킷교환을 동시에 지원할 수 있는 기술이므로 BcN망의 기본 전송방식으로도 활용할 수 있다. 특히, 유리한 점은 가입자 장치 뿐만 아니라 백본망에서도 동일한 이더넷 프레임이 활용될 수 있다는 것이다.

즉, ResE의 동기채널을 사용하고자 하는 서비스에 대해서는 전화망과 같은 신호방식에 의해 필요한 만큼의 슬롯을 예약하면 되고, 일반 인터넷 서비스는 비동기구간에 전송되도록 하면 된다. 따라서, 플로우별 트래픽 감시나 트래픽 셰이핑과 같은 기능이 불필요하기 때문에 장비의 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 저렴하게 시스템을 구축할 수 있다.

〈그림 18〉과 같이 두 방식에 대한 계층구조의 비교에서도 이러한 차이점을 알 수 있을 것이다. 결과적으로, BcN에서의 동기식 이더넷을 사용하면, 관련 소프트웨어 및 하드웨어를 간편하게 구현할 수 있으면서, 보다 엄격한 QoS를 보장할 수 있다.



〈그림 18〉 MPLS기반의 BcN과 ResE기반의 BcN 계층구조 비교

Ⅶ. 요약 및 결론

본 고에서는 ResE에 관련된 동기식 전송기술의 특징과 동작을 분석한 후, 표준화 과정 시 고려해야할 사항들을 열거해 보았다. 앞

으로 이러한 동기식 이더넷 기술의 상용화를 위해서는 기존 이더넷과의 호환성, 토폴로지, 지터제한치, 지연제한치, 대역예약절차, 동기/비동기 트래픽의 비율, 802.1p와의 경쟁, IEEE 1394와의 경쟁, 홈 백본 및 BcN에서의 활용, Plug & Play 절차 등에 대한 보다 상세한 규격이 정의되어야 할 것이다.

참고문헌

- [3] Elias Keshishoglou, Nathan Yeakel, Alexei Beliaev, Shri Arora, "Synchronous Ethernet Specification Draft v0.39", Nov. 2003.
- [5] IEEE 802.9: Integrated Services (IS) LAN Interface at the Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY), Dec. 1996.
- [7] T. Chiueh, "Rether A Software-Only Real-time Ethernet for PLC network", Proc. of the Embedded Systems Workshop, March, 1999.
- [8] F. Carreiro et al., "Virtual Token-Passing Ethernet-VTPE," 5th International Conf. on Fieldbus Systems and their Applications, July, 2003.
- [9] S. Varadarajan and T. Chiueh, "EtheReal; A host-transparent real-time Fast Ethernet Switch," Proc. ICNP, Oct., 1998.
- [13] IEEE 802.3 Residential Ethernet Study Group, http://www.ieee802.org/3/re_study/.

저자소개



윤종호

1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 1991년 - 현재 한국항공대학교 전자정보통신공학부 교수
 주관심 분야 MAC 기술 및 BcN 전달망 기술



오윤제

1987년 2월 연세대 물리학 석사
 1995년 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 물리학 박사
 1996년 - 현재 삼성전자 방송통신기술연구소
 주관심 분야 방송통신융합기술분야, E-PON, WDM-PON



고준호

1992년 2월 숭실대 전자공학 석사, 2005년 2월 서강대 전자공학 박사
 1992년 - 1995년 일본 산테크사 주임 연구원
 1996년 - 1998년 2월 현대전자 전임연구원
 1998년 - 현재 삼성전자 방송통신기술연구소 책임연구원
 주관심 분야 방송통신융합 기술분야



김상호

1998년 2월 성균관대 전자공학과 학사
 2004년 2월 성균관대 전기전자및컴퓨터공학과 석사
 1998년 - 현재 삼성전자 통신연구소 방송통신기술연구소
 선임연구원
 주관심 분야 Residential Ethernet, 방송통신융합 기술분야



김상호

2000년 2월 경희대 전자공학과 학사
 2002년 2월 경희대 전자공학과 석사
 2002년 - 현재 삼성전자 통신연구소 방송통신기술연구소
 선임연구원
 주관심 분야 Residential Ethernet, 방송통신융합 기술분야