

실시간 트래픽을 위한 송신측 주도의 대역폭 예약 방법

김민준^o 엄중훈^{**} 장용석^{**} 김승호^{*}

^{*}경북대학교 컴퓨터공학과 ^{**}KT 통신망연구소

mjkim^o@mmlab.knu.ac.kr, jheom@kt.co.kr, ysjang@mmlab.knu.ac.kr, shkim@knu.ac.kr

A Transmitter Initiated Bandwidth Reservation Method for Real-time Traffic

M.J Kim^o J.H Eom^{**} Y.S Jang^{**} S.H Kim^{*}

^{*}Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

^{**}Telecommunication Network Laboratory, KT

요 약

디지털 미디어 장치의 발달로 인하여 네트워크 상에서 발생하는 실시간 트래픽을 지원해주는 연구들이 많이 진행되고 있다. 그중에서도 기존의 LAN (Local Area Network) 시장의 약 80% 가량을 점유하고 있는 이더넷 기술과 연동하는 기술이 많이 고려되고 있다. 하지만 기존 이더넷 기술이 가진 몇 가지 문제점들로 인하여 이더넷 기술만을 가지고는 실시간 트래픽을 지원하기에는 부족하다. 그래서 IEEE 802.1 AVB TG (IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group)에서 기존의 이더넷 장비 등에 최소한의 변경으로 실시간 트래픽을 지원해주기 위한 표준화가 진행 중이다. 현재 IEEE 802.1 AVB TG에서는 해당 규격을 지원하는 네트워크 환경에서 작동하는 장비들 간에 어떻게 동기를 맞추어 갈 것인지, 이들 장비의 실시간 트래픽을 위한 대역폭 확보는 어떻게 할 것인지, 그리고 확보된 대역폭을 바탕으로 하여 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽을 어떻게 동시에 지원할 것인지가 주요 논의 과제이다.

본 논문은 주요 논의 과제 중에서도 실시간 트래픽을 위한 대역폭 확보 방안에 그 비중을 두었다. 실시간 트래픽의 대역폭을 확보하기 위해서는 대역폭 예약이 필수이다. 대역폭 예약을 송신측, 즉 실시간 트래픽을 발생시키는 장치에서 주도하여 진행하는 방법을 제안한다. 그리고 제안한 방법을 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 통해 실행하고, 그 결과를 분석하였다.

1. 서 론

DVD, 디지털 TV, 디지털 오디오 장치 등 실시간 트래픽을 생성하고 재생하는 디지털 미디어 장치들을 상호간에 연결하기 위한 기술로 현재 IEEE 1394가 사용되고 있다. 이 IEEE 1394는 실시간 전송뿐만 아니라 비실시간 전송도 가능한 장점이 있다[1].

하지만, IEEE 1394는 거리의 제약으로 인하여 인접한 기기들의 연결 시에만 사용될 수 있어 가정 내의 모든 디지털 장치들 간의 실시간 트래픽을 지원하는 것에는 문제가 있다. 또 기본적으로 모든 시스템이 하나의 공유 매체 상에서 동작하므로 새로운 장치를 인식할 때나 연결된 장치가 분리될 때, 전송 매체가 일시적으로 리셋되는 문제도 있다. 뿐만 아니라 IEEE 1394의 시장 관점에서 보더라도 취약점이 있다[2].

이에 대한 해결책으로 최근 10Mbps에서 100Gbps 이상의 전송 속도를 제공해주는 이더넷이 고려되고 있다. 이더넷은 간단한 방법으로 전송이 가능하고, 가격이 저렴하면서 쉽게 확장할 수 있어 이미 LAN 환경에서는 널리 사용되고 있는 전송 기술이다. 이더넷을 이용하여 디지털 미디어 장치간의 동기를 제공해주는 방법을 연구하기 위해 현재 IEEE 802.1 AVB TG를 조직하여 표준화를 진행 중이다[3].

IEEE 802.1 AVB TG에서는 장치간의 시간 동기를 맞

추주기 위한 방법은 표준화가 거의 마무리 단계에 들어간 실정이다. 그리고 실시간 트래픽에 대하여 장치 사이에 대역폭을 미리 예약하기 위한 방법과 이렇게 예약된 실시간 트래픽과 기존의 비실시간 트래픽을 동시에 지원해 주기 위한 프레임 전달 방법 등이 활발히 고려중이다.

본 논문에서는 IEEE 802.1 AVB TG에서 고려된 TimeSync 프레임에 이용하여 이미 동기가 맞추어진 장치들 간에 송신측 주도의 대역폭 예약 방법을 이용하는 방법을 제안한다. 실시간 트래픽을 제공해 주기 위해 기존의 이더넷이 가진 문제와 이 문제를 해결해 주기 위해 제시된 방법들을 2장에서 다루도록 한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 송신측 주도의 대역폭 예약 방법을 3장에서 다루고 제안한 방법이 실시간 트래픽을 위해서 대역폭을 안정적으로 예약하는지를 OPNET을 이용한 실험 결과를 4장에서 보인다. 그리고 5장에서 실시간 트래픽을 위해 본 논문에서 제안하는 송신측 주도의 대역폭 예약 방법의 결론을 맺도록 한다.

2. 관련 연구

2.1 기존 이더넷의 문제점

이더넷의 초창기에는 LAN내의 모든 장치들이 하나의 공유 매체를 이용하여 통신하는 방식인 버스 (Bus)형 구조를 이용하여 통신을 하였다. 따라서 다수의 사용자가 버스형 통신 매체에 접근하기 위해 CSMA/CD 방식[4]

으로 매체에 접근하였다. CSMA/CD 방식의 특성상 전송을 결정하게 되는 시기에 충돌을 피하기 위해 비결정적인 방법을 이용하게 되므로 시간에 민감한 트래픽인 경우에 좋은 선택이 될 수 없었다.

하지만 현재 발달한 이더넷 기술은 성 (Star)형 구조를 이용하여 점대점 연결을 이루게 되어 충돌에 따른 비결정적인 지연 시간의 문제점은 발생하지 않는다. 그리고 트래픽에 두 가지 우선순위를 두어 처리하는 IEEE 802.1p 방식을 이용하게 되어 실시간 트래픽을 우선적으로 처리할 수 있게 됨으로써 어느 정도의 서비스의 질 (QoS)을 향상시킬 수 있게 되었다. 하지만 이러한 802.1p 방식은 다음과 같은 문제점이 있다.

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

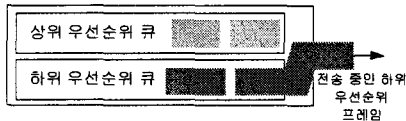


그림 1. 비선점형 전송에 의한 전송 지연 문제

- 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 지터를 가질 수 있으므로 큰 문제가 된다.

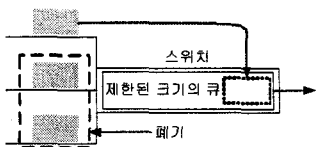


그림 2. 큐의 제한된 크기에 따른 동시 전송 프레임 손실

- 홑 수가 증가될수록 비선점형 통신에 따른 하위 우선순위의 프레임의 영향이나 같은 상위 우선순위 프레임 간에 전송 경쟁에 따른 지터가 발생할 수 있다.

이러한 이더넷의 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 방안들이 제시되었다. 그 방안들로는 산업용 이더넷, IEEE 802.15 WPAN (Wireless Personal Area

Networks), IEEE 1394 등이 있다. 이러한 방법들은 모두 고정된 사이클과 슬롯 기반의 수퍼프레임 방식으로 동작한다.

2.2 산업용 이더넷: Profinet Version3

산업용 이더넷은 산업 환경에서 비실시간 트래픽과 함께 시간에 매우 민감한 실시간 트래픽을 동시에 지원해 주기 위해 등장한 이더넷 기술이다. 산업용 이더넷에도 여러 가지 방법이 존재하지만 Profinet V3 (Version 3)가 널리 사용되고 있다.

이 Profinet V3는 현재 자동화 시스템의 사용자 요구 조건 및 표준 이더넷 기반 위에 Profibus International이라는 중립적인 협회에 의해 주창되어진 산업용 네트워크이다. 표준 TCP/IP와 IT 기술을 사용할 수 있고, 산업용 이더넷이 갖추어야 할 모든 요소를 가지고 있다. Profinet에서는 산업용 이더넷에서 꼭 필요한 실시간 성능을 보장하며, 현재 사용하고 있는 필드 버스 시스템과 완벽히 연결될 수 있다.

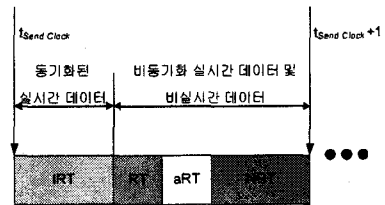


그림 3. Profinet의 사이클 구조

Profinet에서는 전이중 100Mbps 이더넷 상에서, 실시간 트래픽을 위해, 1ms 사이클, 1us 지터를 보장하며, 이를 위해 전용 ASIC을 사용한다. 위에서도 언급했듯이 그림 3에서와 같이 전송지연에 매우 민감한 실시간 (IRT: Isochronous Real-time) 트래픽과 주기적으로 보내줘야 할 실시간 (RT: Real-time) 트래픽, 비주기적인 실시간 (aRT: acyclic Real-time) 트래픽, 그리고 비실시간 트래픽까지 한 사이클 내에서 동시 지원이 가능하다.

2.3 IEEE 802.15 WPAN

IEEE 802.15 WPAN은 비교적 짧은 거리의 무선 네트워크 통신을 위해 만들어진 표준이다. 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 사용함으로써 동일 대역을 사용하는 IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Network)과 상호 간섭을 일으킬 수 있다.

이 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.15 WPAN은 일정 주기 간격으로 반복되는 수퍼프레임을 통하여 데이터를 전송한다. 수퍼프레임은 그림 4와 같이 비큰 프레임을 전송하는 비큰 구간, CSMA/CA 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.

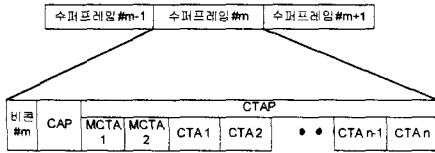


그림 4. IEEE 802.15 WPAN의 수퍼프레임 구조

2.4 IEEE 1394

IEEE 1394는 주변기기를 컴퓨터에 연결하는 고속의 시리얼 버스 입출력 기술로 원래는 애플 (Apple)사에서 개발하였고, 현재 산업의 표준이 되고 있다. 기존에 개발되었던 어떠한 주변기기의 표준보다 빠른 표준의 하나이기 때문에 이를 이용하여 캠코더나 대용량의 하드디스크, 프린터와 같이 고속 데이터 전송이 필요한 멀티미디어용 주변기기에 널리 사용되고 있다.

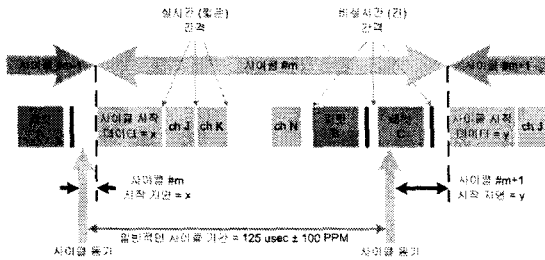


그림 5. IEEE 1394의 사이클 구조

IEEE 1394도 125 usec의 사이클 내에서 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 전송이 가능하다. 실시간 트래픽은 그림 5에서처럼 실시간 채널을 이용하여 전송하고 비실시간 트래픽일 경우 사이클 내에 비실시간 패킷을 전송하는 구간에서 전송한다. 하지만 1절에서의 문제와 더불어 사이클의 시작 시간이 최대 50 usec 내에서 가변적인 문제가 있다.

3. 대역폭 예약

실시간 전송을 위한 MAC 프로토콜로 Profinet V3, 802.15 WPAN, IEEE 1394를 2절에서 살펴보았다. 이들은 모두 고정된 사이클과 수퍼프레임 방식으로 동작하며 대부분 공유 매체 상에서 동작한다. IEEE 802.1 AVB TG에서는 다른 기술들과 유사하게 AV 장치에 최대한 지터없이 여러 개의 이더넷 스위치를 경유하여 전달하는 기술을 연구 중에 있다.

3.1 AV 장치 간에 동기화 방법

이더넷 상에서 실시간 트래픽을 지원하기 위해서는 여러 장치들 간에 비트 동기화 더불어 동일한 time of day (ToD)정보를 가져야한다. 그 이유는 실시간 트래픽을 지원하는 이더넷에 연결되어 있는 장치들 간에 동일한 시간 정보를 갖도록 하여 AV 장치들의 동기를 맞추어주기 위해서이다.

LAN 내의 모든 장치들은 하나의 마스터 클락과 동일한 시각에 맞춰야 한다. 그 방법으로 IEEE 1588[5]을 이용할 수 있다. IEEE 1588은 네트워크 장비들간의 정확한 시간 정보를 동기화 시켜주는 프로토콜의 표준이다. 마스터 클락 정보를 가진 마스터가 특정한 주기로 마스터 클락 정보를 멀티캐스트 하고 이 클락 정보를 전송 받은 네트워크 내의 장치들은 자신의 시간 정보를 이 클락 정보에 맞추는 것으로 네트워크 내의 모든 장비의 동기화가 이루어 지는 것이다.

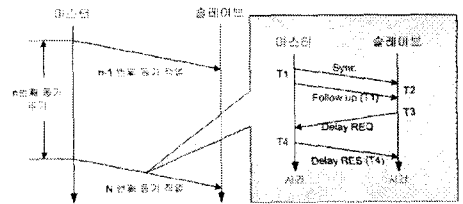


그림 6. IEEE 1588의 동기 동작

마스터는 각 장치들의 동기 정보 갱신을 위해 Sync 메시지를 전송하여 다른 장치들에 마스터의 시간 정보를 알린다. 그 후 슬레이브는 자신의 시간 정보를 마스터가 전송한 시간 정보로 수정하고 전파 지연 시간을 마스터에 요청한다. 전파 지연 시간을 마스터에서 슬레이브로 전송하게 되고 이 작업을 통하여 마스터와 슬레이브간의 동기화가 이루어지게 된다.

이처럼 IEEE 1588의 동기 작업은 그림 6과 같이 3단계에 걸쳐서 이루어지게 된다. 하지만 모든 장치 간에 3단계의 동기화 작업을 수행하게 되면 실시간 데이터를 지연없이 전송하는데 문제가 발생할 수 있다. 따라서 IEEE 802.1 AVB TG에서는 시간 동기화를 위해 IEEE 1588의 동작을 이용하여 마스터에서 슬레이브로의 시간 정보를 알려줄 때 전파 지연 시간을 함께 가지고 가는 방법으로 과부하를 줄여준다.

3.2 송신측 주도의 대역폭 예약 방법

본 논문에서는 LAN내의 모든 장치들 간에 IEEE 802.1 AVB TG에서 제안한 방법을 이용하여 시간 동기화가 이루어져 있다고 가정한다. 이렇게 동기화가 이루어진 후 실시간 트래픽을 발생시킬 장치는 트래픽을 전송하기 전 수신측으로의 해당 대역폭을 예약한다. 주기적으로 생성되는 실시간 데이터를 최대한 지터없이 전송해주기 위해서 단위 시간, 즉 사이클에 전송되어야 할 데이터 크기에 맞는 대역폭이 예약되어야 하는 것이다.

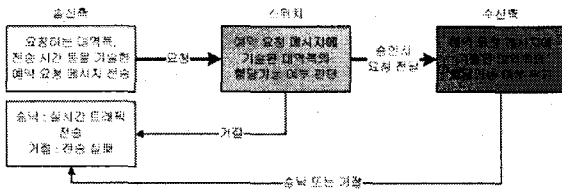


그림 7. 송신측 주도의 대역폭 예약 과정

실시간 트래픽을 위한 대역폭 예약 과정은 그림 7과 같다. 실시간 트래픽을 생성하는 송신측은 필요한 양의 대역폭을 예약하기 위해 IEEE 802.1 AV 스위치에 예약 요청 메시지를 전송한다. 스위치에서는 예약 메시지에 요청 대역폭을 할당해 줄 수 있는지 판단한다. 요청에 대한 승낙 시에는 해당 예약 요청 메시지를 다음 스위치 또는 수신측에 전달하고, 거절 시에는 해당 요청에 대한 거절 응답을 송신측으로 송신한다. 만약 경로상의 스위치에서 모두 승낙되었을 경우 수신측으로 요청 메시지가 전달되고 이때 수신측도 스위치와 똑같은 방법으로 예약 가능 여부를 판단하게 된다.

수신측까지 전달된 예약 요청 메시지가 승낙되었다는 응답을 송신측에서 확인하게 되면 보낼 실시간 트래픽을 요청한 대역폭의 데이터를 요청한 시간에 맞추어 전송한다. 만약 스위치 또는 수신측에서 거절 응답 메시지가 도착한다면 해당 트래픽을 생성하는 것을 취소하고 다음 트래픽을 생성하기 전까지 대기 상태가 된다.

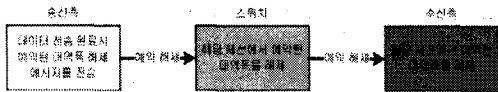


그림 8. 예약된 대역폭 해제 과정

송신측에서 전송해야 할 실시간 데이터의 전송이 완료된 경우 해당 세션에 예약된 대역폭을 해제하여야 한다. 이 경우에도 역시 송신측에서 실시간 트래픽을 발생했던 세션에서 전송이 완료되어 대역폭을 해제하라는 메시지를 전송하게 된다. 이 메시지를 전송받은 스위치는 해당 세션에 할당해 주었던 대역폭을 해제시키고 해제 메시지를 수신측으로 전달한다. 수신측도 마찬가지로 해당 세션에 할당된 대역폭을 해제해 주는 것으로 실시간 트래픽의 전송은 완료되는 것이다.

실시간 트래픽을 위한 예약 요청 메시지나 그에 대한 응답 메시지는 김순사의 시간 슬롯 예약을 위한 방법[6]을 따른다. 그러므로 본 논문에서 예약 요청 메시지와 응답 메시지는 SDMP (Synchronous Data Management Protocol)를 이용한다. SDMP 프레임의 규격은 그림 9와 같다. 예약 요청 시 실시간 트래픽을 발생하는 세션의 ID, 예약 요청 명령을 세션 ID 필드와 명령 필드에 각각 기술한다. 그리고 요청에 대한 응답 시에는 응답 여부

필드와 승낙/거절 여부를 파라미터 필드에 기술하여 전송한다. 마지막으로 예약 해제 시에는 실시간 트래픽을 발생했던 세션의 ID와 해제 명령임을 알리는 값을 세션 ID 필드와 명령 필드에 기술한다.

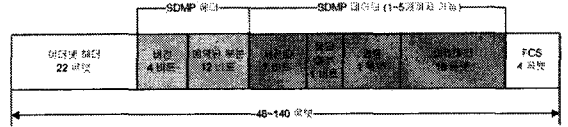


그림 9. SDMP 프레임 구조

잘 알려진 예약 프로토콜로 RSVP (Resource Reservation Protocol)가 있다. RSVP는 OSI 7계층 중 3계층에서 수신측 주도로 대역폭을 예약하는 프로토콜이다. 하지만 IEEE 802.1 AV 규격을 지원하는 장치인 경우에 예약을 위한 인터페이스를 지원하지 못하는 단순한 장치인 경우가 있다. 또 수신측이 대역폭을 예약하기 위해서는 어디서 데이터를 생성하는지 요청하는 작업 기간이 필요하다. LAN의 상황을 모든 노드, 특히 송신측이 알고 있는 경우는 이러한 작업 기간 자체에 부하가 발생할 수 있다. 이러한 이유 때문에 본 논문에서는 송신측의 주도하에 대역폭 예약 방법을 제안한다.

4. 실험 및 결론

본 논문의 대역폭 예약 방법의 효율을 검증하기 위해 OPNET에서 그림 10과 같이 2개의 스위치와 8개의 노드로 이루어진 성형 네트워크 구조를 사용하여 실험하였다. 모든 노드는 10분간 다른 노드로 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽을 발생할 수 있고, 적어도 하나 이상의 스위치를 경유하게 된다. 그러므로 실시간 트래픽을 위하여 본 논문에서 제안한 방법으로 대역폭을 예약하기 위해서는 하나 이상의 스위치와 하나의 노드, 즉 도착지에 예약 요청에 대한 승낙이 발생되어야 실시간 트래픽을 발생할 수 있다.

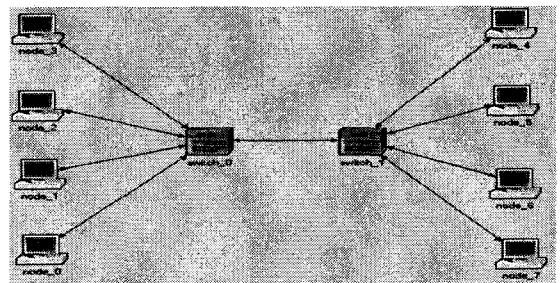


그림 10. 성형 네트워크 구조

실험에서는 8개의 노드가 실시간과 비실시간 트래픽을

매우 빈번히 발생시켰다. 이 경우 대역폭 예약 요청에 대한 승낙 또는 거절이 얼마나 빈번히 발생하는지를 조사하였고, 예약이 이루어진 링크에 대해서 전송 지연이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그림 11에서는 모든 노드에서 예약 요청에 대한 승인 또는 거절에 대한 결과를 보인다. 요청이 거절된 경우 0.5의 값을 나타내었고 승낙된 경우는 1의 값을 나타내었다.

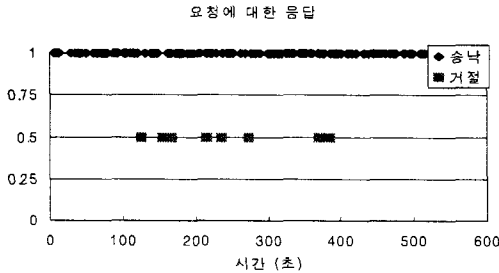


그림 11. 예약 요청에 대한 응답 결과

그리고 그림 12는 대역폭 예약이 승낙된 실시간 트래픽이 전송 지연에 대한 결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 ToD에 대해서 거의 전송지연이 발생하지 않았으며, 발생한 경우에도 최대 900ns 정도의 지연만 발생하였다.

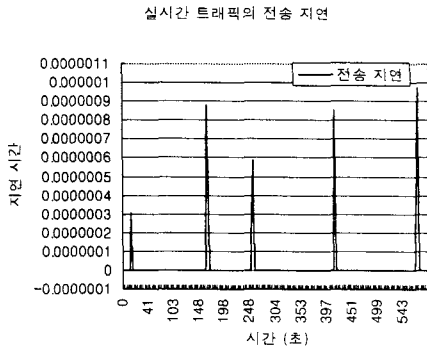


그림 12. 실시간 데이터의 전송 지연

5. 결 론

디지털 AV 장치들이 늘어나고 이 장치들에서 발생하는 실시간 트래픽을 지원해주는 이더넷 기반의 네트워크를 위해 IEEE 802.1 AVB TG가 발족했다. IEEE 802.1 AVB TG는 실시간 트래픽을 지원하는 이더넷을 위해서

세 가지 주요 논의 과제를 다루고 있다. 첫째, 네트워크를 구성하는 장치들 간의 시간 정보를 동기화 해주는 부분, 둘째, 실시간 트래픽을 위한 대역폭 예약 부분, 마지막으로 예약된 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽을 전송해 주는 방법이 그것이다.

본 논문에서는 실시간 트래픽을 지원하는 이더넷에서 특히, 실시간 대역폭을 예약하는 방법에 초점을 두었다. 실시간 트래픽을 생성하는 송신측에서 김슨사의 슬롯 방법에 따라 대역폭을 예약한다. 이러한 송신측 주도의 대역폭 예약 방법은 수신측에서 송신측의 정보를 요청하는 작업의 부하를 없앨 수 있고, 인터페이스를 제공하지 않는 수신측의 경우 예약이 어려울 수 있다는 단점을 극복할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 송신측 주도의 대역폭 예약 방법의 효율은 OPNET에서의 실험을 통해 효율성을 증명하였다.

더 나아가 다른 네트워크 규격에서의 대역폭 예약 방법의 효율을 검증하기 위해 본 논문의 실험 모델과 비교할 계획이다. 그리고 대역폭 예약 뿐 아니라 장치간의 시간 동기화, 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 전송 방법을 통합한 모델을 계획하고 있다.

참고 문헌

1. <http://grouper.ieee.org/groups/1394/1/index.html>
2. 윤종호, 오윤제, 고준호, 김상호, 조재현, "디지털 미디어를 연결을 위한 동기식 이더넷 기술," 전자공학회지 제32권 제4호, p378~p387, 2005년 4월
3. <http://www.ieee802.org/1/pages/avbridges.html>
4. IEEE Computer Society, "Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications," IEEE Std 802.3, 2000 Edition
5. <http://ieee1588.nist.gov/>
6. Pioneer and Gibson, "Synchronous Ethernet Specification Draft v0.39," 2003. 11. 10.