

10G EPON에서 높은 QoS를 보장하는 스케줄링 방법

(Scheduling Scheme for Guaranteeing High Quality of Service in 10G EPON)

전재현[†] 정민석^{**}
(Jae-hyun Jun) (Min-suk Jung)

김민준^{***} 최용도^{***}
(Min-jun Kim) (Yong-do Choi)

김승호^{****}
(Sung-ho Kim)

요약 최근 높은 대역폭을 요구하는 서비스에 대한 수요가 증가하면서 초고속 통신망을 구축하는 것이 절실히 요구되고 있다. IEEE 802.3ah의 Task Force 팀은 차세대 가입자 망인 EPON을 표준화로 규정했다. 그리고 더 높은 서비스를 제공하기 위해 1Gbps였던 상하향 대역폭을 10Gbps로 증가시킨 10G EPON이 등장을 하였다. Kramer는 10G EPON을 연구를 하였지만 부하가 낮을 때 단대단 최대지연이 높아지기 때문에 QoS를 제공하는데 한계를 가졌다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.1 AVB에 QoS를 제공하며 장치간의 동기화 방법, 자원예약 방법, 대역폭 할

당 방법에 대해 제안을 하였다. OPNET을 이용해서 구현한 결과 10G EPON에 원활한 서비스를 제공할 수 있는 것을 확인하였다.

키워드 : 10G EPON, QoS, Inter-ONU 스케줄링

Abstract The service which is required wide bandwidth is growing in these days, so building up High Speed communication system is being required. The Task Force team of IEEE 802.3ah set the EPON as a standard; next generation subscriber access network. For offering a high quality service, 10G EPON that is changed from 1Gbps uplink downlink bandwidth to 10Gbps is come up. Although Kramer had studied 10G EPON there was a QoS limitation, when load is low, End-to-End maximum delay is increased. This paper is suggesting time synchronization method, resource reservation method, bandwidth allocation method. We confirmed that 10EPON was able to offer quality service by the result of the OPNET.

Key words : 10G EPON, QoS, Inter-ONU Scheduling

1. 서론

인터넷에서 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 급격히 증가 하고 있는 정보화 사회에서 초고속 통신망을 구축하기 위해 많은 프로젝트들이 수행되고 있다. 통신망은 학교나 회사와 같이 짧은 거리에서 근거리망, 국가간 또는 대륙간을 연결하는 기간망 그리고 가입자 또는 근거리망을 기간망으로 연결하는 가입자 접속망으로 구성된다. 초고속 통신망을 구축하기 위해 근거리망, 가입자 접속망, 기간망이 모두 높은 대역폭을 전송할 수 있어야 한다. 근거리망과 기간망은 그러한 능력을 갖추었지만 가입자 접속망은 미비한 실정이다[1]. 가입자 접속망에 대한 연구가 표준화 없이 개별적으로 진행중이만 통신사업자들의 최종목적은 가입자 접속망을 위한 초고속망인 FTTH(Fiber To The Home)를 구축하는 것이다.

PON(Passive Optical Network)기술에 기반을 둔 가입자 접속망에서 몇 가지 설계상의 결정되어야 할 중요한 사항 중 하나는 데이터 링크 프로토콜이다. EPON(Ethernet PON)은 OLT(Optical Line Termination)와 ONU(Optical Network Unit) 사이에 이더넷을 데이터 링크 계층으로 사용함으로써 고대역폭을 제공하는 차세대 가입자 접속 망이다.

그림 1과 같이 FTTH의 한 형태인 10G EPON은 광섬유를 사용하여 반경 20Km내에서 xDSL이 구리선을 사용하여 발생하는 단점인 거리에 대한 제약이 없고 IEEE 802.1 AVB에 트래픽을 수용할 수 있어 안정적인 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다. 또한 수동 소자의 사용으로 중계기에 전력 공급이 필요 없어 유지관리와 비용절감의 이점을 가지며 근거리 통신망의 대표적인

· 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '10G EPON에서 OLT와 ONU들 사이에 QoS를 보장하는 스케줄링방법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
jhjun@mmlab.knu.ac.kr

** 비회원 : 임베디드소프트웨어센터 sw개발부 선임연구원
msjung@cest.re.kr

*** 비회원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
mjkim@mmlab.knu.ac.kr
ydchoi@mmlab.knu.ac.kr

**** 중신회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@knu.ac.kr

논문접수 : 2009년 8월 14일

심사완료 : 2009년 12월 9일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제3호(2010.3)

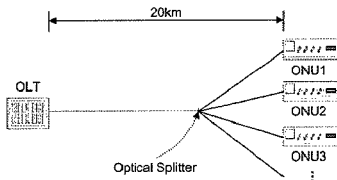


그림 1 10G EPON의 구조

데이터 링크 계층 프로토콜인 이더넷을 사용함으로써 프로토콜 간의 변환에 필요한 오버헤드를 줄여서 차세대 가입자 접속망으로 주목받고 있다. 이러한 장점을 가진 10G EPON에서 IEEE 802.1 AVB 트래픽과 1G EPON을 수용하는 방법에 대해서 제안 하고 실험한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 EPON의 연구에 대해 설명한다. 3장에서는 자원예약 및 대역폭 할당 방법을 제안하고 4장에 실험 결과를 도출한 후 5장에서 결론을 기술한다.

2. 기존 EPON의 연구

Kramer는 우선순위 스케줄링이 어떻게 동적 대역폭 할당과 결합될 수 있는가를 연구하였다. 이것은 IPACT (Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time)[2]와 달리 IEEE 802.3ah Task Force에서 개발한 MPCP (Multi-Point Control Protocol)[3]를 기반한 예약 메커니즘이 사용되고 있다. 그리고 엄격한 우선순위 큐잉 (strict priority queuing) 방식에 MPCP를 사용하여 분류된 대역폭을 다루는 동적 대역폭 할당 알고리즘도 제안되었다[4]. 이 방법은 엄격한 우선순위 큐잉 방식을 제안하고 MPCP를 사용하여 분류된 대역폭을 다루는 제어 메시지 형식을 보여주고 있다.

Ma와 Zhu는 통신 사업자와 가입자간의 SLA(Service Level Agreement)에 근거하여 상향 트래픽을 공유하는 대역폭 보장 폴링(bandwidth guaranteed polling)를 제안 하였다[5]. 이 방법은 일반 가입자에게 최선형의 서비스를 제공하지만 SLA를 체결한 프리미엄 가입자에게는 보장된 대역폭을 제공할 수 있다[6]. 이 모델은 네트워크에 있는 ONU를 두 가지 클래스로 분류한다. 한 클래스는 대역폭 보장형 서비스를 제공받는 ONU들이고 다른 한 클래스는 최선형 서비스를 제공받는 ONU들이다. 전형적으로 하나의 ONU가 다양한 사용자에게 다양한 차등 서비스를 제공할 수 있는 구조도 아니고 802.3ah Task Force가 제안하는 EPON의 MPCP 표준도 수용할 수 없다.

Kramer는 최소 대역폭을 보장한 뒤 전체 사이클에서 최소 대역폭을 제한하고 초과 대역폭을 공평하게 배분 하였다[7]. 하지만 모든 ONU의 대역폭을 다 보고 받은

후 할당이 가능하기 때문에 GATE 메시지를 받는데 시간이 많이 걸린다. 그래서 Kramer는 REPORT 메시지의 전송과 GATE 메시지의 수신 사이의 시간을 줄였지만 완벽히 해결하지는 못했다. 그리고 REPORT 메시지와 GATE 메시지 사이의 시간 동안 도착하는 트래픽에 대해 QoS를 제공하는데 한계를 가진다. 본 논문에서는 위와 같은 문제를 해결하기 위해 OLT가 각 ONU에 스케줄링을 행하고, 각 ONU에 유입 되는 트래픽에 대해 QoS 제공을 유연하게 하기 위한 모델을 제시한다.

3. 자원 예약 및 대역폭 할당 방법

3.1 10G EPON에서 IEEE 802.1 AVB 지원 방법

제안된 10G EPON 구조는 IEEE 802.1 AVB를 지원하기 위해 시간 동기화 방법인 IEEE802.1AS에서 정의한 메시지 포맷을 이용한다. EPON의 PtPE(Point-to-Point Emulation) 구조를 고려했을 때 MAC(Media Access Control) 계층의 가장 높은 주소 값을 마스터 클럭으로 선정한다. 시간 동기화 과정은 OLT가 ONU들을 배치하는 과정 중에 OLT에서 시간 동기화 메시지를 수신 하여 각 ONU의 하위에 연결된 가입자 및 근거리 통신망에게 방송하는 방식으로 구현한다.

IEEE 802.1 AVB가 트래픽 전송을 위해 자원을 예약하기 전 경로 설정은 송신자가 트래픽을 전송할 그룹을 선언하면서 시작된다. 그룹을 설정하기를 원하는 호스트는 설정하고자 하는 그룹 MAC 주소와 그룹에 속한 장치들의 MAC주소를 포함한 MRP(Multiple Registration Protocol) PDU(Protocol Data Unit)를 방송하게 되고 스페닝 트리에 속한 모든 장치의 포트에 전파된다. 이 메시지를 받은 각 포트는 참가 여부를 결정하고 이 그룹에 등록하게 된다. 등록단계가 완료되면 트래픽의 송신을 선언한 노드에 지시메시지가 전송되고 송신자는 원하는 그룹이 생성된 것을 확인한다. 경로 설정 과정은 EPON의 MAC 계층에서 처리하는 방법으로 구현한다.

3.2 자원 예약 절차

경로 설정이 완료되면 트래픽을 송신을 희망하는 노드는 IEEE 802.1 Qat에 정의된 SRP(Stream Reservation Protocol)를 기반으로 자원을 예약한다[8]. SRP는 송신자에서 수신자에게 전송되는 단방향 선언 프로토콜이며 그림 2와 같이 정의한다.

ONU가 IEEE 이더넷 망으로부터 SRP PDU를 수신하면 SRP PDU내의 TSPEC 필드를 보고 자원이 예약될 수 있는지 판단한다. 만약 예약 자원이 부족하다면 ReservationStatus 필드에 예약 실패를 의미하는 값을 할당하고 OLT에게 REPORT 메시지 내에 삽입하여 전송한다. 만약 TSPEC에서 요구하는 자원이 충분하다면 ReservationStatus 필드에 예약 성공 값을 할당하여

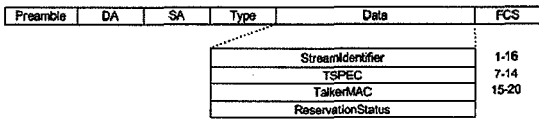


그림 2 SRP PDU

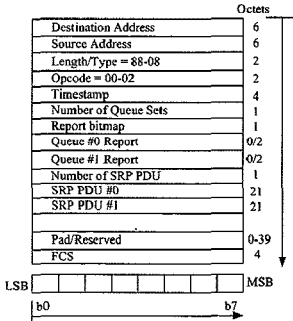


그림 3 SRP PDU를 포함한 REPORT 메시지

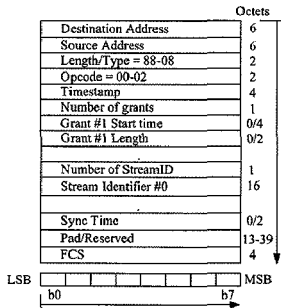


그림 4 SRP의 응답을 포함한 GATE 메시지

OLT에게 REPORT 메시지로 전송한다. OLT는 SRP PDU를 포함한 REPORT 메시지를 수신하면 OLT와 SLA 데이터베이스 내에 TalkerMAC 주소의 검색과 TSPEC의 조건을 검사 후 SLA가 체결되고 예약에 필요한 자원이 충분하면 자원을 예약하게 된다. 즉, 예약에 대한 응답은 상위 프로토콜에서 처리하도록 남겨두었다. 그러나 본 논문에서는 자원예약으로 인한 처리연연을 줄이기 위해 GATE 메시지를 사용해 자원 예약이 성공한 StreamIdentifier를 전송함으로써 SRP에 대한 응답을 확인한다. 그림 3과 그림 4는 SRP PDU를 포함한 REPORT 메시지와 GATE 메시지를 나타낸다.

3.3 Inter-ONU 스케줄링

ONU로부터 받은 REPORT 메시지에 표기된 큐의 정보를 근거로 각 ONU에게 충돌이 발생하지 않도록 전송 시작시간(T_i^{start})과 전송 허가량(G_i)을 할당한다. 식 (1)에서 R_i 는 요구 대역폭이고 G_i 는 허가된 양, B_i 는 동기식 트래픽의 예약된 데이터 양이다. 그리고 M_{report} 는 REPORT 메시지의 길이를 비트 단위로 나타낸다. B_{max}

는 상향 스트림으로 허용된 최대 전송률을 표현하면 10G EPON 모델에서 사용되는 값은 10Gbps이다.

$$G_i = DBA(R_i)$$

$$T_i^{start} = T_{i-1}^{start} + (G_{i-1} + B_{i-1} + M_{report}) / B_{max} + G_{BAND} \quad (1)$$

G_i 를 할당 받은 ONU는 자신의 전송 윈도우의 크기를 G_i 로 하고 T_i^{start} 에서 W_i 만큼 전송할 수 있다.

본 논문에서 IEEE 802.1 AVB 에서 정의한 클래스 4와 클래스 5의 트래픽을 수용하는 것을 목표로 한다. 클래스 4는 지연과 지터를 최대 1ms으로 규정하고 있으며 클래스 5번은 125μs으로 규정하므로 상향으로 한 사이클의 길이(T_{cycle})를 125μs으로 제한한다. T_{cycle} 는 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$T_{cycle} = \sum_{i=1}^N G_i / B_{max} + N \times (G_{BAND} + M_{report} / B_{max}) \quad (2)$$

식 (2)에서 G_{BAND} 는 보호구역(Guard Band)이며 G_{BAND} 를 두는 이유는 ONU_i의 송신 레이저가 데이터를 전송한 후에 자연스럽게 발생하는 신호가 소멸되기 전에 ONU_{i+1}의 전송을 방지하기 위해서이다. G_{BAND} 는 기존 EPON과 같이 512ns으로 사용한다.

그림 5는 각 ONU가 데이터를 전송할 때 각 ONU에게 할당된 타임슬롯에 IEEE 802.1 AVB 데이터와 비동기식 데이터를 함께 전송하는 방식이다. 각 ONU에 전송 윈도우(W_i)는 식 (3)과 같이 구성된다. 이 방식은 ONU_i가 할당 받은 타임 슬롯에 한번에 동기식 데이터(W_i^R)와 비동기식 데이터(W_i^{NR})를 전송할 수 있어 보호구역으로 인한 오버헤드를 줄여 처리율을 높일 수 있다. 그러나 타임 슬롯의 크기를 할당하는 방식에 따라서 지터가 발생할 수 있어 Inter-ONU 스케줄링 방식을 설계할 때 지터를 감소시키는 방법을 고려해야 한다.

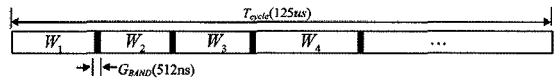


그림 5 실시간 트래픽 전송 방법

$$W_i = W_i^R + W_i^{NR} \quad (3)$$

동일한 타임슬롯에 전송하는 가장 기본적인 방식은 Kramer가 제안한 IPACT 기반의 Fixed, Limited, Gated, Const, Linear 그리고 Elastic 방식이다. IPACT의 동작 방식은 그림 6과 같다.

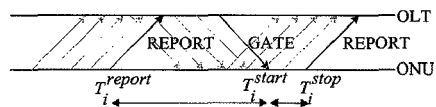


그림 6 IPACT의 동작 방식

그림 6에서 OLT는 각 ONU를 폴링하고 있다가 현재 큐 정보가 담긴 REPORT 메시지를 받으면 DBA를 거쳐 GATE 메시지를 송신한다. 이 방식은 상향스트림의 대역폭을 줄여 처리율을 높이는데 있으나 REPORT 메시지를 전송 후 GATE 메시지를 받을 때까지의 기간 동안 유입되는 트래픽을 처리하지 못하는 단점이 있다.

Kramer가 제안한 Inter-ONU 스케줄링 방식 중에서 프레임의 지연, 처리율, 공평성을 고려해 볼 때 Linear 방식이 가장 적합하다. 하지만 부하가 낮을 때 보호구역보다 할당량이 적어져 처리율이 낮아지기 때문에 단대단 최대 지연이 높아지는 단점이 있다. 그래서 본 논문에서는 부하가 낮을 때 단대단 최대지연을 보완하기 위해서 ONU의 최소대역폭 할당량을 보호구역 크기로 하는 Hybrid-Linear 방식을 비동기식 데이터를 할당할 때 사용한다. 할당 방식은 식 (4)과 같다. 요구량(R_i)에 상수(const)를 곱한 값과 예약된 대역폭(B_i)의 합을 구한 후 이 값을 보호구역과 $W_{max} - B_i$ 내에서 할당하는 방식이다. B_i 는 ONU $_i$ 가 클래스 5 트래픽과 클래스 4 트래픽에 대해서 예약된 대역폭의 크기이며 OLT와 ONU의 자원 예약을 해지하는 메시지가 수신되기 전까지 계속 유지된다.

$$G_i = \begin{cases} G_{BAND} \times B_{max} - B_i, & const \times R_i + B_i \leq G_{BAND} \times B_{max} \\ const \times R_i - B_i, & G_{BAND} \times B_{max} < const \times R_i + B_i < W_{max} \\ W_{max} - B_i, & const \times R_i + B_i \geq W_{max} \end{cases} \quad (4)$$

최대 윈도우 크기(W_{max})는 아래식 (5)와 같이 T_{cycle} 를 ONU의 개수(N)로 나누고 보호구역을 감산한 값에 최대대역폭(B_{max})를 곱한 다음 REPORT 메시지의 길이를 감산하여 구한다.

$$W_{max} = (T_{cycle} / N - G_{BAND}) \times B_{max} - M_{report} \quad (5)$$

OLT에서 각 ONU에게 대역폭을 할당하는 절차는 그림 7과 같다. W_{max} 는 식 (5)을 계산해서 계산한다. 그림 7은 제안한 Inter-ONU 스케줄링 방식을 나타낸다.

REPORT 메시지의 수신과 동시에 T_{cycle} , ONU 개수, B_{max} , G_{BAND} 그리고 W_{max} 의 기본값을 설정한다. 그리고 REPORT 메시지에서 송신자의 주소와 요구량을 획득해서 예약한 대역폭을 가산한 값을 비교하여 값이 큰 값을 보호구역에서 예약된 대역폭을 차감한 값을 할당하고 전자의 값이 크면 다시 보호구역의 크기와 비교해서 전자가 크면 보호구역에서 예약된 대역폭을 차감한 값을 허가하고 후자가 크면 요구량에 const를 곱한 값에서 예약된 대역폭을 차감하여 허가한다. 허가할 대역폭 양이 정해지고 나면 이전에 할당된 ONU의 전송 종료시간을 전송 시작 시간으로 GATE 메시지에 기입하여 송신한다. 그리고 새로운 REPORT 메시지의 도착 유무를 확인한 다음 새로 도착한 REPORT 메시지가 없으면 스케줄링을 종료한다.

```

INTER-ONU SCHEDULING BEGIN
For i=1 to ONU Number
  ONU_start[i]= ONU_start[i-1]
  *TIME(Grant[i-1]+Book[i-1]+REPORT)
  +GUARD
  IF TIME(const*Request[i]+Book[i]) ≤ GUARD THEN
    Grant[i] = LEN(GUARD)-Book[i]
  ELSE IF const*Request[i]+Book[i] < W_MAX
    THEN Grant[i] = const*Request[i]-Book[i]
  ELSE Grant[i] = W_MAX -Book[i]
  ENDF
ENDFOR
END
    
```

그림 7 Inter-ONU 스케줄링

4. Inter-ONU 스케줄링의 성능 분석

본 논문에서 제안한 파장 분할 EPON 모델의 성능을 분석하기 위해 OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 구현된 10G EPON 모델의 구성은 표 1과 같다.

Kramer가 제안한 방식 중 Linear 방식이 가장 우수한 성능을 보였지만 단대단 최대지연에서 부하가 낮을 때 높은 지연을 보여주는 단점을 가진다. 이 문제를 해결하기 위해 Hybrid-Linear 방식을 제안하였다. 이 실험에서는 모든 ONU에서 생성되는 트래픽의 양을 100%의 부하까지 증가시키며 비교 실험을 했다.

그림 8에서 H-Linear는 최소 대역폭 이하로 요구하는 ONU에 대해서 보호구역 크기의 최소 대역폭으로 할당함으로써 저부하일 때 ONU에서 자신의 타임슬롯에 트래픽을 전송 후 다음 전송시각 사이에 도착한 트래픽의 양을 추가 대역폭으로 요청하는 WT[9] 방식과 OLT에서 요구량과 전송량으로 각 ONU의 큐에 저장된 트래픽의 양을 예측하여 할당하는 Par[9] 방식에 비해 낮은 단대단 최대 지연을 보였다.

표 1 10G EPON의 구성

파라미터	값
OLT : ONU	1 : 16
채널 전송률	10Gbps
파장수	상향: 1개, 하향 1개
OLT와 ONU간의 거리	20km
사이클의 길이	125μs
ONU 버퍼 크기	10Mbits

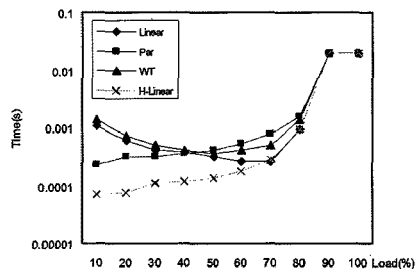


그림 8 단대단 최대지연

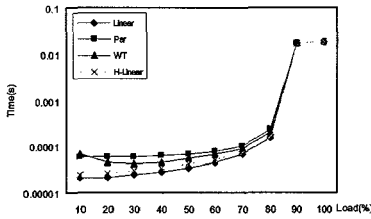


그림 9 단대단 평균지연

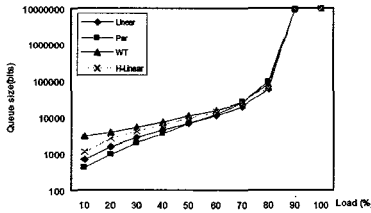


그림 10 큐 크기

그림 9의 결과에서 보는 것과 같이 H-Linear 평균 지연은 저부하일 때 WT 방식과 Par 방식보다 낮은 지연을 보였지만 Linear 방식보다 다소 높은 단대단 평균지연을 보였다. 이와 같은 이유는 저부하일 때 고정적으로 할당하는 최소대역폭의 이용률이 Linear 방식보다 높지 않기 때문이다. 그러나 부하가 증가할수록 이용률이 상승해 Linear 방식과 유사한 지연을 나타내는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 큐 크기를 나타내며 H-Linear는 부하가 낮을 때 Par와 Linear 방식보다 큐 크기가 크고, 부하가 높아짐에 따라 유사해졌다. 이는 모든 ONU에게 최소 대역폭을 보장함으로써 사이클이 다른 방식에 비해 길어져 큐에 트래픽이 오래 저장되어 있기 때문이다.

제안된 방법에서 최대지연과 평균지연의 값이 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 원활한 서비스를 제공할 수 있다고 볼 수 있다. 또한 ONU에게 최소 대역폭을 보장해 줄 수 있는 이점을 볼 수 있었다.

5. 결론

멀티미디어 서비스에 대한 요구가 기하급수적으로 증가하면서 네트워크의 대역폭 확장에 대한 많은 연구와 투자가 이루어지고 있다. 이런 상황에서 등장한 EPON은 그동안 병목현상으로 여겨졌던 가입자 접속망의 솔루션으로 많은 연구가 이루어졌고 표준화되었다. 그리고 상하향 스트림의 대역폭을 10Gbps로 증가시킨 10G EPON은 고대역폭을 지원하고 엄격한 지연과 지터를 요하는 IEEE 802.1 AVB 트래픽도 전송할 수 있어 사용자가 원하는 모든 서비스를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 10G EPON에 IEEE 802.1 AVB 트래픽을 원활하게 수용할 수 있는 모델을 설계하였고, Inter-ONU 스케줄링 방법으로 10G EPON에서 가장 효과적인 Linear 방

식의 단점을 보완한 Hybrid-Linear 방식을 제안하고 실험하여 실제 망 장비를 설계하는데 좋은 참고자료가 될 것이라 기대한다. 향후 10G EPON의 파장의 수를 늘려 ONU 별로 파장을 할당하는 10G WDM (Wavelength Division Multiplex) EPON에 IEEE 802.1 AVB 트래픽을 효과적으로 지원하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] M. Listanti, V. Eramo and R. Sabella, "Architectural and Technological Issues for Future Optical Internet Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.38, Issue 9, pp.82-92, Sep. 2000.

[2] G. Kramer and B. Mukherjee, "Interleaved polling with adaptive cycle time (IPACT): a dynamic bandwidth distribution scheme in an optical access network," *Photonic Network Communication*, vol.4, no.1, pp.89-107, Jan. 2002.

[3] IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications, 2002.

[4] S. I. Choi and J. D. Huh, "Dynamic bandwidth allocation algorithm for multimedia services over Ethernet PONs," *Electronics and Telecommunications Research Institute Journal*, vol.24, no.6, pp.465-468, Dec. 2002.

[5] M. Ma, Y. Zhu and T. H. Cheng, "A bandwidth guaranteed polling MAC protocol for Ethernet passive optical networks," *proc. of IEEE INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual joint Conference of the IEEE Computer and Communications*, vol.1, pp.22-31, Mar. 2003.

[6] J. T. Park, J. W. Baek and W. K. Hong, "Management of Service Level Agreements for Multimedia Internet Service Using a Utility Model," *IEEE Communications Magazine*, vol.39, Issue 5, pp.100-106, May 2001.

[7] G. Kramer, A. Banerjee, N. K. Singhal, B. Mukherjee, S. Dixit and Y. Ye, "Fair Queueing With Service Envelopes (FQSE): A Cousin-Fair Hierarchical Scheduler for Subscriber Access Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.22, no.8, pp.1497-1513, Oct. 2004.

[8] IEEE P802.1Qat/D0.9 Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Virtual Bridged Local Area Networks-Amendment 9: Stream Reservation Protocol (SRP), Jul. 2007.

[9] C. H. Chen, H. T. We and K. W. Ke, "Predictive Credit Based Dynamic Bandwidth Allocation Mechanisms in Ethernet Passive Optical Network," *proc. of TENCON 2006. 2006 IEEE Region 10 Conference*, pp.1-4, Nov. 2006.