

# EPON망에서 차등 CoS 제공을 위한 주기적 폴링 기반의 동적 대역 할당 방법

정회원 최 수 일\*

## Cyclic Polling-Based Dynamic Bandwidth Allocation for Differentiated Classes of Service in Ethernet Passive Optical Networks

Su-Il Choi\* *Regular Member*

요 약

EPON망은 중앙 기지국과 가입자들 사이에 광 액세스 라인을 저렴하게 제공할 수 있는 액세스 망 기술로 떠오르고 있다. 동적 대역 할당은 상향 채널의 효율적인 활용을 위해 ONU간 통계적 다중화를 제공한다. 본 논문에서는 EPON망에서 차등 CoS를 제공하기 위해 주기적 폴링을 기반으로 한 동적 대역 할당 방법을 제안한다. 더불어, Interleaved 폴링 방식에 기반한 동적 대역 할당 방안은 상향 트래픽 로드가 적은 경우 하향 채널의 용량을 대폭 감소시키는 단점을 가지고 있음을 보인다. 실제적인 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 self-similarity와 long-range dependence 특성을 갖는 트래픽을 이용하였다. EPON망의 성능은 ONU에 제공되는 다양한 로드별로 분석하였으며, 특히 차등 CoS 특성 분석을 위해 등급별 패킷의 지연 특성을 분석하였다.

Key Words: 수동형 광가입자망(EPON), 동적 대역 할당(DBA), CoS

### ABSTRACT

Ethernet passive optical networks (EPONs) are an emerging access network technology that provide a low-cost method of deploying optical access lines between a carrier's central office and customer sites. Dynamic bandwidth allocation (DBA) provides statistical multiplexing between the optical network units for efficient upstream channel utilization. To support dynamic bandwidth distribution, I propose an cyclic polling-based DBA algorithm for differentiated classes of service in EPONs. And, I show that an interleaved polling scheme severely decreases downstream channel capacity for user traffics when the upstream network load is low. To obtain realistic simulation results, I used synthetic traffic that exhibits the properties of self-similarity and long-range dependence. I then analyzed the network performance under various loads, specifically focusing on packet delays for different classes of traffic.

### I. 서론

최근 통신 기술의 발전은 기간망의 용량을 크게 증가시켰다. 인터넷 트래픽의 급격한 증가에 맞춰 기간망의 통신 용량은 증가한 반면, 가입자망의 용

량은 크게 증가하지 않음으로써 기간망과 고용량 LAN 사이의 병목현상이 야기되고 있다. 현재 널리 채택되고 있는 가입자망 기술은 DSL (digital subscriber line)과 케이블 모뎀이다. 그러나, DSL 기술과 케이블 모뎀 기술은 최종 사용자에게 음성,

\* 한국전자통신연구원 액세스SW팀(csi@etri.re.kr)

논문번호 : 030164-0416, 접수일자 : 2003년 4월 16일

데이터, 비디오 등과 같은 광대역 서비스를 제공하기에는 많은 제약이 따른다. 가입자망의 병목현상을 해결하기 위한 유일한 해결책은 광섬유를 기반으로 한 통신망으로서 기업 가입자와 일반 주거 가입자 모두 수용 가능해야 한다. 수동형 광가입자망(PON: passive optical network)은 수동형 소자만을 이용한 점대 다중점(P2MP: Point-to-Multipoint) 구조의 광가입자 망이다. 광대역 서비스를 제공하는 새로운 가입자망 기술로 수동형 광가입자망이 대두되고 있다<sup>[1-4]</sup>.

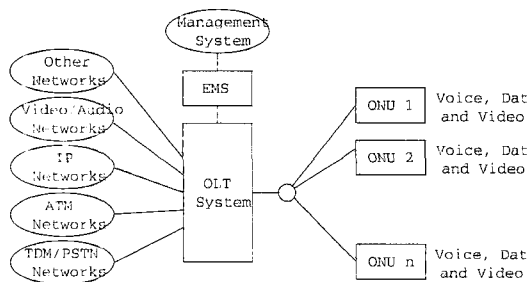


그림 1. 이더넷 PON 시스템.

그림 1은 이더넷 수동형 광가입자망(EPON: Ethernet Passive Optical Network)을 보여주고 있다. EPON은 중앙 국사에 위치한 OLT(Optical Line Termination)와 원격에 위치한 다수의 ONU(Optical Network Unit)가 점대 다중점(P2MP) 형태로 연결되며, 가입자들에게 광대역 음성, 데이터, 그리고 방송 서비스를 제공한다. 하향 트래픽은 OLT에서 브로드캐스팅 방식으로 전송되고, 해당 ONU가 선별적으로 수신한다. 상향 트래픽은 시분할 다중접속(TDMA: Time Division Multiple Access) 방식을 통해 개별 ONU에 할당된 타임 슬롯(Time Slot) 동안 ONU로부터 OLT로 전송된다.

개별 ONU에게 상향 대역을 할당하는 간단한 방법은 고정 타임슬롯을 할당하는 방법이다<sup>[2]</sup>. 고정 대역 할당(SBA: Static Bandwidth Allocation) 방안은 간단한 반면 ONU들간의 통계적 다중화에 기반한 대역 할당을 제공할 수 없다.

EPON망에서 ONU간 통계적 다중화를 고려한 동적 대역 할당(DBA: Dynamic Bandwidth Allocation) 방안은 여러 가지 알고리즘이 제시되었다<sup>[5-7]</sup>. IPACT(Interleaved Polling Adaptive Cycle Time)<sup>[5]</sup>는 현재의 ONU로부터 트래픽 전송이 완료되기 이전에 다음 ONU에 대해 폴링하는 방식으로 통계적 다중화와 효율적인 상향 채널의 활용을 제공한다. 하지만 IPACT는 EPON의 다중점 제어 프

로토콜(MPCP: Multi-Point Control Protocol)과 결합되어 적용되는 경우 전송할 상향 트래픽이 적을수록 OLT에서 ONU로 전송 가능한 하향 채널의 용량을 급격히 감소시키는 단점을 가지고 있다. 또한, 가변적인 폴링 주기로 인해 지연이나 지터에 민감한 서비스의 제공 또는 SLA(Service Level Agreements)에 적합하지 않다. Interleaved 폴링과 차등 CoS(Class of Service)를 고려한 동적 대역 할당 방법<sup>[6]</sup>은 상향 로드가 적은 경우 패킷 지연 증가 현상(Light Load Penalty)을 해결하기 위해 ONU에서 2단계 출력 큐의 사용을 제한하였다. 주기적 폴링과 차등 CoS를 고려한 동적 대역 할당 방법<sup>[7]</sup>은 OLT에서 등급별 대역을 할당하고, ONU는 등급별로 할당된 타임슬롯에 등급별 트래픽을 전송하며, 등급별 대역 할당을 위하여 MPCP 프로토콜의 GATE 및 REPORT 제어 메시지를 제한하였다.

본 논문에서는 EPON망에서 차등 CoS(Class of Service) 제공을 위해 주기적 폴링에 기반한 동적 대역 할당 방법을 제안한다. 주기적 폴링 방법이 EPON망에 적합함을 보이고, 세가지 등급의 트래픽 분류 및 등급별 큐 정보를 고려한 동적 대역 할당 알고리즘을 제시한다. 더불어, 다중점 제어 프로토콜(MPCP), IEEE802.1D 표준의 기본 스케줄링 방법인 SPR(Strict Priority) 스케줄링, IEEE802.1P 표준에서 권고한 트래픽의 우선순위와 등급별 서비스와의 연결 관계를 이용한 성능 분석도 제공코자 한다.

본 논문의 II장에서는 EPON의 MPCP 프로토콜을 소개하고 MPCP 프로토콜 할당자에 대해서 설명한다. III장에서는 EPON망에서 차등 CoS 제공을 위해 주기적 폴링 방식을 이용한 동적 대역 할당(DBA) 알고리즘을 제안한다. 더불어, 제안한 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 마지막으로, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 이더넷 수동형 광가입자망(EPON)

EPON망은 모든 정보를 이더넷 프레임에 실어서 전송하는 수동형 광가입자망이다. 가입자망에서 이더넷의 표준화 작업은 IEEE P802.3ah EFM(Ethernet in the First Mile) TF(Task Force)에서 이루어지고 있다. 이더넷은 기본적으로 브로드캐스팅되는데, 이는 EPON 구조에서 하향 전송 방식과 일치한다. ONU에서 OLT로 이루어지는 상향 전송 방식은 ONU들간에 상향 채널의 자원을 공유하여 이루어져야 한다.

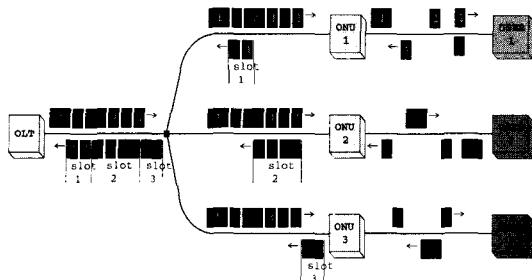


그림 2. EPON에서 상향 및 하향 전송.

그림 2는 점대 다중점(P2MP) 구조의 EPON망에서 상향 전송 및 하향 전송 과정을 보여준다. 다중점 제어 프로토콜(MPCP)은 점대 다중점(P2MP) 형태로 연결된 OLT와 ONU들 사이에 상향으로 데이터의 효율적 전송을 위한 메카니즘을 제공한다.

### 1. 다중점 제어 프로토콜(MPCP)

EPON망에서 다중점 제어 프로토콜(MPCP: Multi-Point Control Protocol)은 점대 다중점 형태로 연결된 마스터와 슬레이브들간의 효율적인 데이터 전송을 제공하기 위한 제어 메카니즘을 정의한다<sup>[8]</sup>. 다중점 제어 프로토콜(MPCP)은 MAC 제어 부계층에 위치한다. MPCP 프로토콜의 제어 메시지들은 GATE, REPORT, REGISTER\_REQ, REGISTER, REGISTER\_ACK로 이루어져 있다. 더불어, IEEE 802.1 표준과의 호환성을 위해서 점대점(point-to-point) 에뮬레이션 기능을 제공한다.

GATE 메시지는 동기 시간의 제공, ONU의 발견(Discovery), ONU와의 거리값 측정(Ranging), 동적 대역할당을 제공한다. ONU별 상향 슬롯할당은 ONU로부터의 요구량이나 SLA를 기반으로 가변적인 타임 슬롯을 할당하는 가변적 시분할 다중접속을 제공한다.

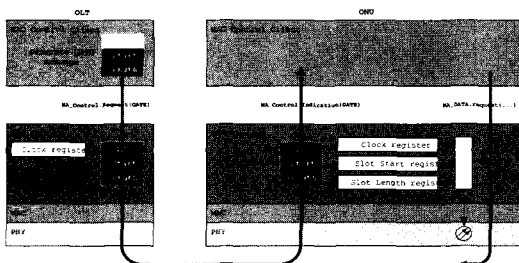


그림 3. EPON의 개략적인 계층 구조.

그림 3은 EPON의 개략적인 계층 구조를 보여준다<sup>[9]</sup>. OLT는 MAC 제어 부계층에서 GATE 제어

메시지를 생성하여 ONU별로 전송한다. GATE 제어 메시지는 상향 채널로 패킷 전송이 가능한 허용 시작 시간(Grant Start Time)과 허용 길이(Grant Length) 정보를 담는다. ONU는 GATE 제어 메시지를 수신하면 허용된 시간동안 상향으로 패킷을 전송하게 된다. 더불어, ONU는 REPORT 제어 메시지를 이용하여 상향 대역 요구량 정보를 OLT에 전송한다. MPCP 제어 메시지는 시간표(Timestamp) 정보를 담고 있으므로, OLT와 ONU간 시간 동기화 및 RTT(Round Trip Time) 측정을 가능케 한다. OLT는 ONU로부터 REPORT 제어 메시지를 수신하면 RTT를 계산하여 ONU별 RTT 시간을 갱신한다. RTT 시간의 측정 방법은 그림 4에서 보여준다<sup>[10]</sup>.

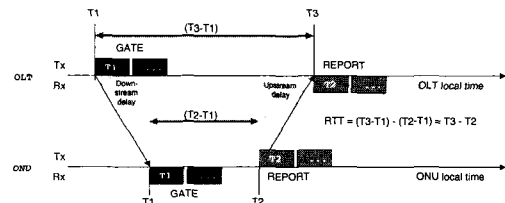


그림 4. RTT(Round-trip time)시간의 측정.

REPORT 제어 메시지는 OLT로부터 할당된 타임슬롯 구간 내에서 데이터와 같이 전송되며, ONU별 복수개의 큐(queue) 정보를 제공한다. 일반적으로, REPORT 메시지는 ONU의 큐 길이 정보를 기반으로 다음번의 타임슬롯 요구량 정보를 담는다. OLT는 ONU로부터 전송된 REPORT 제어 메시지를 통해 ONU의 큐별 상태정보를 확인하고 ONU별 대역할당 정보로 활용한다.

### 2. MPCP 프로토콜 할당(Allocation)

MPCP 프로토콜 할당자(Allocator)라 불리는 중앙 집중식 스케줄러는 MPCP 할당을 수행한다. 그림 5는 OLT와 ONU간 기능블록의 관계를 보여준다. MPCP 할당자(MPCP Allocator)는 슬롯 계산자(Slot Calculator)와 Grant 생성자(Grant Generator)로 이루어진다. 슬롯 계산자는 ONU별 큐 정보를 토대로 ONU별로 제공할 대역을 계산한다. Grant 생성자는 ONU별 grant를 생성하여 GATE 메시지를 통해 전송한다. ONU의 MPCP 요구자(MPCP Requester)는 큐 계산자(Queue Counter)와 요구 생성자(Request Generator)로 구성된다. MPCP 요구자는 복수개의 버퍼(Buffer) 상태에 따른 큐 길이 정보를 REPORT 제어 메시지를 통하여 OLT에 보낸다. ONU의

MAC 제어 부계층에서는 `SignalIndication()` 함수를 통하여 상향 채널을 통한 데이터 전송의 시작과 종료를 제어한다.

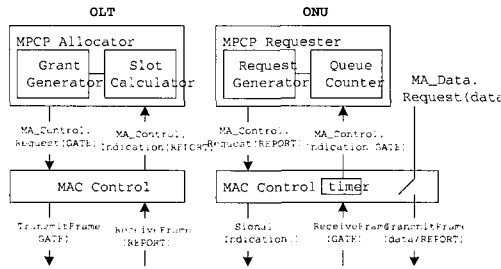


그림 5. OLT와 ONU간 기능블록 관계.

### III. 동적 대역 할당(DBA)

#### 1. 주기적 폴링(Cyclic Polling) 알고리즘

EPON 가입자망에서는 OLT에서 모든 ONU, 모든 ONU에서 OLT로의 연결 관계만 알 수 있다. 그러므로, OLT에서만 상향 채널의 시분할 접속 허용을 할당할 수 있다.

Kramer et al.<sup>[5]</sup>는 Interleaved 폴링 이라는 OLT 중심의 폴링 방법을 제안하였다. Interleaved 폴링 방법은 현재 ONU로부터 전송이 완료되기 이전에 다음 ONU로 폴링을 시작하는 방법이다. 그림 6는 Interleaved 폴링 방법을 보여준다. Interleaved 폴링의 최소 주기는 RTT에 의해 결정되고, 최대 주기는 ONU별 Grant 길이의 최대값을 지정하여 제한되어야 한다.

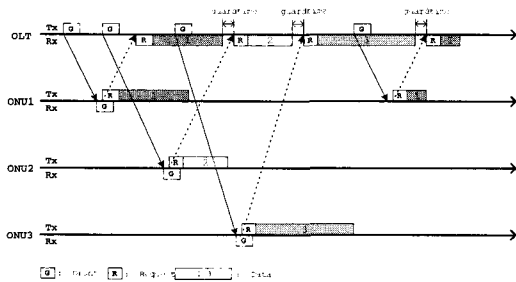


그림 6. Interleaved 폴링 방법

주기적 폴링(Cyclic Polling) 방법은 일정한 폴링 주기마다 모든 ONU에 대한 폴링을 OLT에서 수행하는 방법이다. 그림 7은 주기적 폴링 방법을 보여준다. 주기적 폴링은 다양한 대역 할당 알고리즘의 적용이 쉽고, ONU별 최소 및 최대 대역 할당 정책의 적용이 용이하다. 반면, 주기적 폴링은 Grant 제공시

이전 단계의 Request 정보를 기준으로 할당하므로, Request한 양에 비례하게 상향 대역을 할당함으로써 패킷의 지연특성을 보완해줄 수 있다.

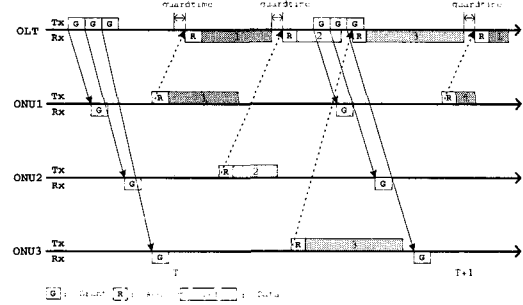


그림 7. 주기적 폴링 방법

우선,  $n$ 은 OLT에 연결된 ONU의 개수,  $B_{total}$ 은 상향 채널의 대역 용량,  $R_i$ 는 ONU별 대역 요구량,  $G_i$ 는 ONU별 대역 할당값이다. 매 폴링 주기마다 ONU별 타임슬롯의 할당은 다음과 같은 절차에 의해서 이루어진다.

- (a) 이전 주기에서 ONU별로 REPORT 제어 메시지를 통해서 요구한  $R_i$ 를 이용하여 다음과 같이 대역 할당값  $G_i$ 를 계산한다.

$$G_i = B_{total} \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서  $R_i = Q_i / T_{cycle}$ 는  $i$ 번째 ONU의 대역 요구량,  $Q_i$ 는  $i$ 번째 ONU의 타임슬롯 요구량에 해당한다. 단, 초기 타임슬롯 요구량  $Q_i$ 는 MPCP제어 메시지를 위한 요구량을 기본값으로 갖는다.

- (b) 다음 주기의 ONU별로 할당된 타임슬롯 할당값  $G_i \cdot T_{cycle}$ 의 시작시간 offset은 다음과 같다.

$$\Delta T_i = \sum_{j=1}^{i-1} G_j \cdot T_{cycle} - RTT_i \quad (2)$$

위의 식 (1)에서  $\Delta T_i$ 는  $i$ 번째 ONU의 전송 시작시간 offset,  $RTT_i$ 는  $i$ 번째 ONU의 RTT값에 해당한다.

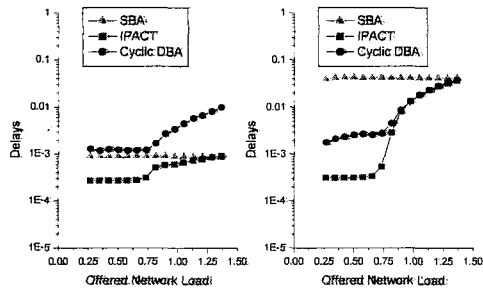
- (c) ONU별로 GATE 제어 메시지를 이용하여 다음 주기의 전송 시작시간과 타임슬롯값을 전송한다. 주기별 타임슬롯값 계산 및 GATE 제어 메시지의 전송은 폴링 주기보다 매우 짧은 시간안에 이루어진다.

두 가지 폴링 방식의 특성을 비교하기 위하여 트

래픽의 변화에 따른 성능을 비교하였다. 표 1에서는 시뮬레이션에 사용된 기본 시스템 파라미터를 정리하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

파라미터	값
ONU의 개수( $n$ )	16
ONU 가입자 구간 전송 속도	100 Mbit/s
PON 구간 전송 속도	1000 Mbit/s
PON 구간 최대 거리	5 km ~ 20 km
Guard Time	1 $\mu$ s
트래픽(self-similarity, long-range dependence)	Pareto distribution
폴링 주기( $T_{cycle}$ )	2 ms

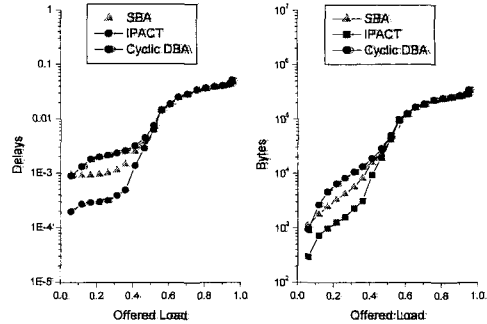


(a) 10%로드 ONU: 평균 패킷 지연 (b) 90%로드 ONU: 평균 패킷 지연  
그림 8. 10% 로드 제공 ONU 그룹과 90% 로드 제공 ONU 그룹의 평균 패킷 지연

우선, EPON망에서 동적 대역 할당이 적용되어야 함을 보이기 위해, ONU별 상향 로드가 다른 경우 정적 대역 할당(SBA: Static Bandwidth Allocation), Interleaved 폴링 방식의 동적 대역 할당, 주기적 폴링 방식의 동적 대역 할당 방안의 지연 특성을 비교 하였다. 그림 8은 10%의 로드를 갖는 ONU 그룹과 90%의 로드를 갖는 ONU 그룹의 조합에 의해 OLT로 보내는 상향 로드의 변화에 따른 ONU 그룹별 패킷의 평균 지연 특성을 보여준다.

그림 8(a)와 8(b)를 비교하면, 정적 대역 할당(SBA) 방식의 경우 10% 로드의 ONU의 패킷 지연 특성과 90% 로드의 ONU의 패킷 지연 특성이 크게 차이가 나타남을 확인할 수 있다. SBA의 경우 전체 상향 채널의 로드가 적은 경우에도 90%로드를 제공하는 ONU 그룹은 패킷 지연 특성이 굉장히 크게 나타남을 보인다. 이는 EPON망에 SBA 적용시 상향 채널의 활용도가 극히 낮음을 보여준다. 동적 대역 할당 방법인 주기적 폴링 방식과 Interleaved 폴링 방식을 비교하면, OLT로의 상향

로드가 적은 경우 폴링 주기가 짧아지는 Interleaved 폴링 방식이 우수한 패킷 지연 특성을 보임을 알 수 있다.



(a) 평균 패킷 지연 (b) 평균 큐 길이  
(c) 평균 폴링 주기 (d) 하향 채널의 용량  
그림 9. 대역 할당 방법에 따른 성능 분석

모든 ONU의 로드가 동일하다는 가정 하에 위의 세 가지 대역 할당 방식의 로드별 패킷 지연과 큐의 길이 특성을 비교하였다. 그림 9는 로드의 변화에 따른 평균 패킷의 지연, 평균 큐의 길이, 평균 폴링 주기, 하향 채널의 용량을 보여준다.

그림 9(a)와 9(b)를 비교하면, SBA 보다 주기적 폴링 방식의 DBA 방식이 패킷의 지연 특성이 약간 크게 나타나는 구간이 존재함을 알 수 있다. 이는 주기적 폴링 방식에 이전 주기에 요구된 대역요구량을 기반으로 대역을 할당하기 때문이다. 그림 9(c)와 9(d)는 세 가지 대역할당 알고리즘의 평균 폴링 주기와 하향 채널의 용량을 보여준다. 주기적 폴링은 ONU별 제공 로드의 변화에 무관하게 일정한 주기를 갖는다. 반면에, Interleaved 폴링은 ONU별 로드가 적을수록 빠른 폴링 주기를 제공한다. 특히, 상향으로 전송할 ONU의 로드가 매우 적은 경우, 폴링 주기는 RTT(Round Trip Time)에 가깝게 된다. 하지만, MPCP 프로토콜의 GATE 제어 메시

지를 다량 전송함으로써 하향 채널의 용량을 급격히 감소시키는 단점이 있다.

OLT에서 ONU들로의 폴링을 위해 사용된 대역은 다음과 같이 구해진다.

$$B = \frac{n}{T_{cycle}} * 84 \text{ byte} * \frac{8 \text{ bit}}{\text{byte}} * \frac{1}{1 \text{ Gbps}} * 100 \% \quad (3)$$

위의 식 (3)에서 B는 폴링에 사용한 대역, n은 ONU의 개수,  $T_{cycle}$ 은 폴링주기에 해당한다. GATE 제어 메시지는 64byte의 메시지 길이에 8byte의 Preamble과 12byte의 IFG(Inter Frame Gap)이 추가되었다.

16개의 ONU가 OLT로부터 최대 20km 거리에 위치하며, ONU의 로드가 적다고 가정하면, 주기적 폴링 방식은 0.5376%의 하향 채널을 사용한다. 반면에, Interleaved 폴링 방식의 경우 폴링 주기는 RTT(200 $\mu$ s)에 해당하므로, 5.376%에 해당하는 하향 채널의 용량을 점유한다. 아파트 단지처럼 가입자들이 밀집되어 있는 지역에 EPON망이 설치되는 경우 OLT와 ONU간 거리는 수 km 이내에 해당될 수 있다. ONU가 OLT로부터 최대 5km 거리에 위치한다고 가정하면, Interleaved 폴링의 경우 폴링 주기는 RTT(50 $\mu$ s)에 해당하므로, 21.504%의 하향 채널을 GATE 제어 메시지를 보내는데 사용하게 된다. OLT에 연결된 ONU의 개수가 32개로 증가하는 경우, 하향 채널의 43%에 해당하는 대역이 낭비된다. 이는, Interleaved 폴링 방식의 경우 상향으로 전송할 데이터가 적은 경우 하향 채널의 용량을 극단적으로 제한하는 단점을 가지고 있음을 보여준다. EPON망에서 방송 서비스와 같은 특화된 서비스를 제공하기 위해서는 OLT와 ONU간 하향 대역 용량의 크기도 상향 대역의 효율적 사용 못지않게 중요하다. 또한, Interleaved 폴링 방식의 경우 GATE 제어 메시지를 정확한 시간에 보내야 하지만, 패킷을 전송중인 경우 대기시간을 고려하면 추가분의 채널 용량의 손실이 존재함을 알 수 있다. 따라서, EPON의 다중점 제어 프로토콜(MPCP)과 함께 동적대역할당(DBA)을 제공하기 위해서는 주기적 폴링(Cyclic Polling) 방식이 적합함을 알 수 있다.

## 2. 서비스 등급 전략

품질 서비스(QoS:Quality of Service)란 다양한 전략을 적용하여 망(Network)의 트래픽을 주어진 순서에 따라 전송함으로써, 전송 요구량이 망의 용량을 초과하는 경우 패킷 지연으로 인한 효과를 줄

이는 일반적인 개념이다.

등급별 서비스(CoS:Class of Service)를 제공하기 위해서 이더넷 망은 트래픽을 등급별로 분류하여 차등화된 처리를 할 수 있어야 한다. P802.1p와 P802.1Q 표준화에서는 위의 처리 방안을 제공한다. P802.1Q에서는 우선 순위 정보를 담기위한 이더넷 프레임의 확장된 형태를 정의하였다. 표준화에서는 트래픽을 다음과 같이 7가지로 분류하였다: 망 제어(Network Control), 음성(Voice), 비디오(Video), 제어 로드(Controlled Load), EE(Excellent Effort), BE(Best Effort), Background. P802.1P 표준에서는 트래픽의 우선순위와 등급별 서비스와의 연결 관계에 대한 권고 사항을 보여준다.

본 논문에서는 서비스를 다음과 같이 세 가지 우선순위 그룹으로 분류한다.

- 고급 우선순위 서비스(P0: High Priority Service): 가입자와 가입자간 지연 요구량과 지터 요구량을 가지는 트래픽에 해당한다. 예를 들면, 음성 서비스 또는 CBR(Constant Bit Rate) 방송 서비스가 이에 해당한다.
- 중급 우선순위 서비스(P1: Medium Priority Service): 지연 특성이 민감하지 않지만 일정한 대역 요구량을 가지는 트래픽에 해당한다. 예를 들면, 비실시간 특성을 갖는 VBR(Variable Bit Rate) 서비스가 이에 해당한다.
- 하급 우선순위 서비스(P2: Low Priority Service): 가입자와 가입자간 지연이나 지터가 민감하지 않는 일반적인 이더넷 데이터 트래픽에 해당한다.

## 3. CoS를 고려한 동적대역 할당(DBA)

EPON망에서 동적 대역 할당 방법의 성능 해석을 위하여 Self-Similarity와 LRD(Long-Range Dependence) 특성을 갖는 망 트래픽 모델을 사용한다<sup>[6]</sup>. 백본망과 케이블망에서 가장 많이 전송되는 패킷의 길이는 64 바이트, 582/594 바이트, 그리고 1518 바이트에 해당한다. 고급 우선순위 서비스를 위하여, T1 연결의 에뮬레이션(Emulation)을 처리한다. T1 서비스의 경우 4.48 Mbit/s 의 대역을 사용한다. 중급 우선순위 서비스는 Self-similarity와 LRD 특성을 갖는 VBR 비디오 스트림(Stream)을 고려한다. 하급 우선순위 서비스는 비실시간 데이터 전송을 고려한다.

우선, n은 OLT에 연결된 ONU의 개수,  $B_{total}$ 은 상향 채널의 총 대역용량이라고 가정한다. 이 경우

ONU별 대역할당  $G_i$ 는 다음과 같이 구한다.

단계 1) 고급 우선순위 대역 할당값,  $G_i^H$ ,는 고급 우선순위 서비스를 위해 할당된다. 고급 우선순위 대역 할당값은 DS-1, E-1 서비스처럼 기존의 서비스를 제공하기 위해서 사용 가능하다. 이는 상향 전송 프레임의 유무와 무관하게 고정된 대역 할당이 필요하다. 그러므로,  $G_i^H$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$G_i^H = B_i^H \quad (4)$$

위의 식 (4)에서  $B_i^H$ 는  $i$ 번째 ONU에 대해 미리 할당된 대역값에 해당한다. EPON의 OLT와 ONU간 OAM(Operations Administration and Maintenance) 과 큐 정보 보고를 위한 REPORT 제어 메시지 전송을 고급 우선순위 서비스로 처리하는 경우  $G_i^H$ 는 추가적인 대역을 할당하게 된다.

단계 2) 중급 우선순위 대역 할당값,  $G_i^M$ ,은 하급 우선순위 서비스보다 먼저 할당받게 된다. 그러므로,  $G_i^M$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$G_i^M = \min \left( R_i^M, \left( B_{total} - \sum_{i=1}^n G_i^H \right) \frac{R_i^M}{\sum_{i=1}^n R_i^M} \right) \quad (5)$$

위의 식 (5)에서  $R_i^M = Q_i^M / T_{cycle}$ 는  $i$ 번째 ONU의 중급 우선순위의 대역 요구량에 해당한다.  $Q_i^M$ 는  $i$ 번째 ONU의 중급 우선순위의 큐의 길이에 해당하는 타임슬롯 요구량 정보이다.

단계 3) 하급 우선순위 대역 할당값,  $G_i^L$ ,은 Best Effort에 해당하는 하급 우선순위 서비스를 위해 할당된다. 그러므로,  $G_i^L$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$G_i^L = \left( B_{total} - \sum_{i=1}^n (G_i^H + G_i^M) \right) \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (6)$$

위의 식 (6)에서  $R_i = R_i^H + R_i^M + R_i^L$ 는  $i$ 번째 ONU의 대역 요구량,  $R_i^L = Q_i^L / T_{cycle}$ 는  $i$ 번째 ONU의 하급 우선순위 대역 요구량에 해당한다.

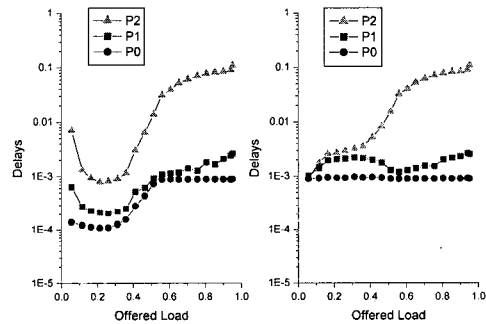
OLT에서  $i$ 번째 ONU에 할당하는 총 대역 할당값,  $G_i$ ,은 다음과 같이 구해진다.

$$G_i = G_i^H + G_i^M + G_i^L \quad (7)$$

OLT에서는 제안된 동적 대역 할당 알고리즘을 적용하여 ONU별 대역을 제공하며, ONU에서는 IEEE 802.1D<sup>[9]</sup> 표준의 기본 스케줄링 방식인 SPR(Strict Priority) 스케줄링을 적용하여 망의 성능을 비교하였다. 표 2에서는 시뮬레이션에 사용된 기본 시스템 파라미터를 정리하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터.

파라미터	값
ONU의 개수( $n$ )	16
등급 갯수	3
ONU 가입자 구간 전송 속도	100 Mbit/s
PON 구간 전송 속도	1000 Mbit/s
PON 구간 최대 거리	20 km
Guard Time	1 $\mu$ s
트래픽(self-similarity, long-range dependence)	Pareto distribution
폴링 주기( $T_{cycle}$ )	2 ms



(a) Interleaved 폴링 DBA (b) 주기적 폴링 DBA  
그림 10. 등급별 평균 패킷 지연

그림 10에서는 ONU에서 SPR(Strict Priority) 스케줄링을 적용할때 Interleaved 폴링 방식 DBA 알고리즘과 본 논문에서 제안한 주기적 폴링 방식 DBA 알고리즘의 등급별 트래픽 지연 특성을 보여 준다. 고급(P0), 중급(P1) 및 하급(P2) 우선순위 트래픽의 지연 특성을 비교하면 Interleaved 폴링 방식 DBA의 경우 ONU의 로드가 적은 경우 패킷 지연 증가현상(Light Load Penalty)을 보임을 알 수 있다. 반면에, 주기적 폴링 방식의 DBA는 이러한 패킷 지연 증가 현상이 나타나지 않음을 알 수 있다. 더불어, 고급(P0) 우선순위 트래픽의 경우 로드의 변화에 무관하게 일정한 지연 특성을 보임을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 이더넷 수동형 광가입자망에서 차등 CoS를 제공하기 위해 주기적 폴링에 기반한 동적 대역 할당 방안을 제안했다. 제안한 동적 대역 할당 방안은 사용자 트래픽을 세가지 등급으로 구분하고 등급별 요구 정보를 기반으로 상향 대역을 제공한다.

Interleaved 폴링 기반의 DBA 방식(IPACT)과 MPCP 프로토콜의 결합은 EPON망에서 상향 트래픽 로드가 적은 경우 하향 채널의 용량을 크게 제한하는 단점을 가지는 반면, 주기적 폴링에 기반한 동적 대역할당 방안은 하향 채널의 용량을 제한하지 않는 장점을 가진다. EPON망에서 차등 CoS를 제공하기 위하여 서비스를 고급, 중급 및 하급 우선 순위 서비스로 분류하고, 등급별 요구 정보를 기반으로 OLT에서 상향 대역을 할당하는 방안을 제시하였다.

다양한 시뮬레이션을 통하여 EPON망에서 동적 대역 할당이 필요함과, 주기적 폴링 방식의 DBA가 유용함을 보였다. 더불어, 제안한 DBA 알고리즘, MPCP 프로토콜, 그리고 ONU에서 802.1D의 SPR(Strict Priority) 스케줄링을 적용하여 등급별 트래픽의 지연 특성이 우수함을 보였다.

#### 참 고 문 헌

[1] 윤중호, 장운선, 유태환, "이더넷 PON 기술," *한국통신학회지*, vol. 18, no. 11, pp. 110-116, November 2001.

[2] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Ethernet PON (ePON): Design and Analysis of an Optical Access Network," *Photonic Network Comm.*, vol. 3, no. 3, pp. 307-319, July 2001.

[3] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local Loop," *Lightwave*, vol. 16, no. 10, pp. 68-74, September 1999.

[4] B. Lund, "PON Architecture 'futureproofs' FTTH," *Lightwave*, vol. 16, no. 10, pp. 104-107, September 1999.

[5] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time (IPACT): A Dynamic Bandwidth Distribution

Scheme in an Optical Access Network," *Photonic Network Comm.*, vol. 4, no. 1, pp. 89-107, January 2002.

[6] G. Pesavento, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye, and R. Hirth, "Supporting Differentiated Classes of Service in Ethernet Passive Optical Networks," *Journal of Optical Networking*, vol. 1, nos. 8 & 9, pp. 280-298, 2002.

[7] S.I. Choi and J.D. Huh, "Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for Multimedia Services over Ethernet PONs," *ETRI Journal*, vol. 24, no. 6, pp. 465-468, December 2002.

[8] IEEE Draft P802.3ah<sup>TM</sup>/D1.414, *Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for Subscriber Access Networks*, March 2003.

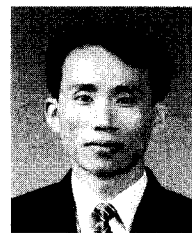
[9] D. Sala et al., *MPCP Baseline Proposal Architecture and Layering Model*, IEEE802.3ah EFM, St. Louis, MO, March 2002: URL ([http://www.ieee802.org/3/efm/public/mar02/sala\\_1\\_0302.pdf](http://www.ieee802.org/3/efm/public/mar02/sala_1_0302.pdf)).

[10] A. Maislos et al., *MPCP - State of the Art*, IEEE802.3ah EFM, Raleigh, NC, Jan. 2002: URL ([http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan02/maislos\\_1\\_0102.pdf](http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan02/maislos_1_0102.pdf)).

[11] ANSI/IEEE Standard 802.1D, *Media Access Control (MAC) Bridges*, 1998.

최 수 일(Su-Il Choi)

정회원



1990년 2월 : 전남대학교 전자공학과 졸업  
 1992년 8월 : 한국과학기술원 전자자공학과 석사  
 1999년 8월 : 한국과학기술원 전자자공학과 박사  
 1999년 11월~현재 : 한국전자

통신연구원 광가입자망연구부 선임연구원

<주관심분야> 광가입자망, 실시간 제어, NGN, QoS