

## 서비스 차별화를 위한 가입자 망 대역 할당 방식 A Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for QoS in EPON

주운기

선문대학교 지식정보산업공학과 부교수, E-mail : [ugjoo@sunmoon.ac.kr](mailto:ugjoo@sunmoon.ac.kr)

### Abstract

가입자망의 구현 형태의 하나인 EPON(Ethernet Passive Optical Network)에서의 대역할당 방식을 다룬다. EPON의 서비스 성능은 상향 트래픽을 어떻게 처리해주는가에 영향을 많이 받는데, 본 논문에서는 4가지 등급으로 구분된 서비스 트래픽에 대한 QoS(Quality of Service)를 고려한 데이터 전송 서비스를 위한 알고리즘을 하나 제시하고, 이에 대한 성능 분석을 위해 시뮬레이션을 한다.

### 1. 서론

BcN(Broadband Convergence Network) 망은 백본 망과 메트로 망 및 가입자 망으로 구성되어 있고, 메트로 망과 가입자 망의 대역폭과 품질 보장이 매우 중요하다. 메트로 망은 테라급의 속도를 지원하고 있으나, 가입자 망은 100Mbps 정도를 지원하고 있다.

BcN 유선 광 가입자 기술로는 xDSL(x Digital Subscriber Line), HFC(Hybrid Fiber Coax), LAN, FTTH 등이 있다. 이중 FTTH 가입자 망을 위한 방안의 하나로 PON(Passive Optical Network)이 있다. PON은 TDMA-PON과 WDM-PON이 있고, TDMA-PON은 EPON(Ethernet-PON)과 GPON(Gigabit-PON)이 있다.[3] WDM-PON은 가입자 당 별도의 파장을 할당하는 형태이므로 미래의 대역 수요를 수용할 수 있는 방안이고, 국간망의 WDM 통신 방식을 그대로 활용 가능하다는 장점이 있지만, WDM

광원, 파장 다중화기 및 역 다중화기의 가격이 고가라는 문제가 있다. 따라서, 현실적인 대안으로 TDMA-PON에 대한 관심이 크지만, 이 방식은 하나의 대역을 여러 개가 공유하는 형태를 취하므로 전송하고자 하는 가입자 수가 증가하면 전송속도가 감소하는 문제가 있다. EPON은 GPON에 비해 전송 속도가 낮고 적용 서비스가 이더넷으로 한정되어 있다는 단점이 있지만, 이더넷이 활성화된 상황에서는 패킷 전송을 최적으로 할 수 있고, 구현 가격이 저렴하다는 장점이 있어서 이더넷 기반의 초 고속망이 확산되어 있는 한국, 일본, 중국 등의 아시아 시장에서 본격적으로 적용되고 있는 상태이다.

본 논문에서는 EPON에서의 QoS(Quality Of Service)를 고려한 대역폭 할당 방안을 하나 제안하고, 이에 대한 성능 분석을 한다.

### 2. 가입자 망의 트래픽 서비스

트래픽에 대한 특성 분석은 트래픽 별 QoS 보장을 위해서도 필요하다. 연구에 의하면 VBR(Variable-Bit-Rate) 비디오 서비스의 트래픽은 지수분포나 일양분포보다는 파레토(Pareto) 분포로 더 잘 모델링 된다는 것을 실증적으로 보이고 있다.[2] 파레토 분포는 LRD(Long-Range-Dependence)와 self-similarity를 갖는 분포로, 파레토 분포  $h(x)$ 는 평균이  $\alpha\beta/(\alpha-1)$  이고, 분산은  $\alpha\beta^2/[(\alpha-1)^2(\alpha-2)]$ 이다, 여기서,  $\alpha$ 는 모양(shape) 모수이고,  $\beta$ 는 위치(location) 모수이다.

QoS 및 망 성능에 대한 척도로 ITU-T E.800에서는 가용성(availability), 수율(throughput) 또는 대역 활용도(bandwidth), 지연(delay), 지연 변동(variation), 손실(loss) 등으로 평가할 것을 권고하고 있다. 또한 ITU-T Y.1540에서는 IP 망에서의 QoS를 접속 속도(accessing speed), 정확도(accuracy), 의존도(dependability), 가용도(availability)로 측정하기를 권고하였다. 이 중, 패킷 전송 성능 파라미터(모수)로는 패킷 전달지연, 패킷 전달 지연 변동, 패킷 손실율, 패킷 오류율, 패킷 초과율(spurious rate)을 제시하였고, 가용도를 위해서는 가용 비율과 비가용 비율의 두 가지 파라미터를 제시하였다. 또한 ITU-T Y.1541에서는 Y.1540을 기반으로 하여 트래픽을 6가지의 QoS 수준으로 구분하였고, 각 수준별 요구되는 전송 성능 기준값을 제시하였다.

EPON을 위해 사용하는 성능 척도는 일반적으로 대역폭(bandwidth), 패킷지연(delay; latency), 지연 변동(jitter), 그리고 패킷 손실율이다. QoS(Quality Of Service)와 CoS(Class Of Service)는 이들 척도를 만족시켜주는 망의 능력을 말하는데, QoS는 각 흐름이나 세션, 또는 연결 별 성능 보장을 의미하지만, CoS는 개별 단위 별 보장이 아니라 그룹 별 서비스 질의 보장을 의미하는 차이가 있다. CoS는 IEEE 802.1D에서 다루고 있다. IEEE 802.1D는 ONU 내에서의 스케줄링에 관련된 것으로, IEEE 802.2ah 가 ONU 간 스케줄링에 대한 것만 다루고 ONU 내의 스케줄링은 다루고 있지 않으므로 이를 보완할 수 있는 규정이다. IEEE 802.1D는 P802.1p 가 구분한 트래픽 유형을 수용하였고, IEEE 802.1Q는 이러한 트래픽 유형 별 우선 처리 순위를 지정하여 서비스를 할 수 있도록 이더넷 프레임 format을 규정하였다. 다음은 IEEE 802.1D에 규정된 트래픽 유형이다.

- 망 제어용 패킷 : 망을 운영하고 유지 위해 필요한 필수적인 패킷
- 음성 패킷 : 10ms 이하의 지연이 필요한 트래픽
- 비디오 패킷 : 100ms 이하의 지연이 필요한 트래픽
- 제어 부하(controlled load) : 인증 제어와 같은 트래픽으로, 망의 운영을 위해 필요한 트래픽
- excellent effort : CEO ' s best effort: 중요 사용자가 요구한 트래픽
- best effort : 일반적인 LAN 트래픽
- background : 타 사용자나 응용 서비

스에는 무관한, 특정 고객에게만 의미가 있는 트래픽

패킷의 CoS(Class Of Service)에 따라 패킷 서비스를 하기 위한 방안으로 ONU내의 버퍼를 여러 개로 논리적으로 구분하여 각 CoS 별 패킷을 다룰 수 있다.

IEEE P802.1p는 후에 IEEE 802.1D로 통합되었는데, IEEE 802.1D에서는 ONU내에 4개의 논리적 버퍼를 가지는 경우에는 다음과 같이 트래픽을 분류할 것을 권고하고 있다.[3], [4]

- 버퍼 1: network control, voice
- 버퍼 2: video, controlled load
- 버퍼 3: excellent effort, best effort
- 버퍼 4: background

즉, network control과 voice 트래픽을 한곳에서 관리하고, video와 controlled load를 묶어서 또 하나의 버퍼에 관리하며, excellent effort와 best effort를 묶어서 하나의 버퍼로, 그리고 나머지 하나의 버퍼에는 background 트래픽을 저장하여 관리하는 것을 권고하고 있다.

### 3. 대역 할당 방식

EPON은 각 ONU에 해당 TDM(Time Division Multiplexing) timeslot을 할당하여 ONU들은 해당 timeslot에 자신의 이더넷 프레임을 송신하는 방법을 이용한다. ONU는 단 말장치로부터 송신 요구된 이더넷 프레임들을 버퍼링하고 있다가, 해당 timeslot 시점에서, 저장된 프레임들을 송신한다. 또한, 해당 ONU에 할당되는 timeslot의 개수를 조정함으로써 ONU마다의 차등대역을 할당할 수도 있다.

ONU는 상향 트래픽을 전송하기 위하여 다른 ONU들과 망 자원(예, fiber trunk의 대역폭)을 공유하게 되고, OLT는 ONU들간 공유된 망 자원의 접근 권한을 제한한다. 따라서 EPON 구조에서 상향 데이터 전송 시 발생할 수 있는 충돌을 제거하고 동적으로 대역을 할당할 뿐만 아니라 EPON 시스템의 성능을 향상 시키기 위하여 공평하고 효율적인 MAC 프로토콜의 개발이 요구된다.

이들 프로토콜은 일반적으로 대역폭 이용률, 서비스 지연 시간, 공평성 등의 척도에 대해 좋은 성능의 알고리즘을 위해 여러 가지 기법이 적용한다. 여기에서는 이들 알고리즘의 일부를 살펴보고, 대역 할당 알고리즘을 하나 제안한다. 이를 위해 다음과 같이 기호를 먼저 정의하기로 한다.

N : 총 active ONU개수;  $R_i$  : ONU i의 전송 요구량(TQ),  $i=1,2,\dots, N$ ;  $w_i$  : ONU i의 중요도,  $\sum_{i=1}^N w_i = 1$ ;  $B_i^{\min}$  : OLT의 MAC Control client 가 관리하는, ONU i 에 대한 최소한의 할당량(TQ);  $B_i^{\max}$  : ONU i 에 대한 최대한의 할당량(TQ);  $B_i^g$  : ONU I에 할당된 대역폭(TQ),  $B_i^{\min} \leq B_i^g \leq B_i^{\max}$ ;  $T_{cycle}$  : cycle 시간(TQ); R : 상향 전송 속도(bps); S : 물 바가지 용량(step), TQ; G : 보호 대역(Guard time), TQ.

### 3.1 정적 대역 할당 방식

정적할당 방식(SBA: Static Bandwidth Allocation)은 각 ONU에서의 대역폭 요구량  $R_i$  를 고려하지 않고 모든 cycle에서 각 ONU가 미리 정한 양 만큼의 대역폭  $B_i^g$  를 갖도록 하는 방식이다. SBA는 만약 ONU I의 요구량  $R_i$  가  $B_i^g$  보다 작다면,  $R_i$  만큼의 데이터를 전송 한 후, 나머지 대역폭인 ( $B_i^g - R_i$ )는 idle 상태로 대역을 낭비하게 되는 문제가 있다.

### 3.2 제안하는 알고리즘

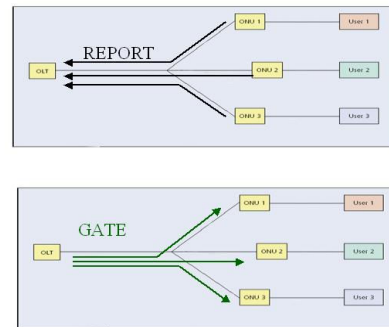
동적 대역 할당 방식(DBA: Dynamic Bandwidth Allocation)은 할당되는 대역폭  $B_i^g$  이 각 cycle 마다  $R_i$  에 따라 변동되는 형태의 할당 방식으로, IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time) 방식, 이단계 버퍼링 방식(two-stage buffer), EDDBA(Enhanced DBA) 방식, HSSR(Hybrid Slot-Size/Rate) 방식, WFBA(Water-Filling Bandwidth Allocation) 등이 있다.[1]

WFBA(Water-Filling Bandwidth Allocation) 방식은 E연구소가 개발한 E-PON MAC의 대역할당 알고리즘으로, SBA와 DBA를 혼합한 혼합형대역할당(hybrid DBA) 방식의 하나이다.

WFBA는 다음과 같은 절차를 거친다:

(1) 각 cycle에서, OLT는 cycle이 시작되자마자 static GATE 메시지 생성을 위한 준비 작업 후, 곧 바로 static GATE를 N개(ONU 개수) 생성하여 방송한다 (2) static GATE 송신 후, 모든 ONU에 각각의 dynamic GATE를 생성(일정 시간의 CPU 시간이 소요됨)하여 (그림 1)과 같이 방송한다 (3)

static REPORT가 OLT에 도달하면, 모든 N개의 ONU에서의 대역폭 요구량  $R_i$  의 정보를 알게 되고, 현 cycle 내에서 dynamic REPORT 도 도착한 ONU에 대해서는 dynamic REPORT의  $R_i$  를 static REPORT의  $R_i$  대신 관리한다. 이들 정보는 다음 cycle의 초기에서 dynamic GATE 메시지에 반영하여 해당 ONU에 송신한다 (4) ONU 에서는 static GATE가 도착하면, 즉시 static REPORT를 생성하여 OLT에 자신의 요구 대역폭 정보를 송신한다. 이를 위해 OLT는 적절한(GATE 수신 즉시 REPORT 발송하도록) grant start time을 설정해 주어야 하고, Grant Length는 REPORT를 보낼 수 있을 정도만 설정하면 된다 (5) dynamic GATE가 도착되면, 지정된 grant start time에 지정된 grant Length 동안 패킷을 전송 후, 즉시 dynamic REPORT를 보낸다.



(그림 1) GATE 및 REPORT 메시지 송신

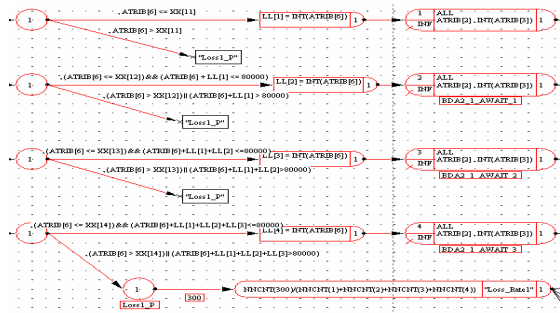
## 4. 성능 분석

### 4.1 대역 할당 알고리즘 파라미터

OLT와 32개의 ONU간 하나의 광섬유를 통해서 TDM 방식으로 상향 트래픽을 전송하는 서비스에서, 각 ONU 별 지연시간, 버퍼 점유율, 공동의 매체 이용률 등을 평가하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션 모델을 수립하였다.

사용자로부터 발생하는 트래픽은 4가지 클래스로 우선 처리 순위가 구분되는데, 최상위 우선 순위를 갖는 클래스 1은 지수시간 분포 간격으로 64바이트 (프리앰블 8바이트 포함하여 576비트) 크기의 프레임이 도착되는 것으로 하였고, 나머지 클래스들은 파레토 분포 시간 간격으로 64~1518바이트

(프리앰블 8바이트 포함하여 576~12208비트) 크기의 프레임이 도달하는 것으로 설정하였다. 버퍼는 총 8Mbit 용량을 4개의 클래스가 나뉘어서 사용하는 형태이지만, 우선 순위가 높을수록 버퍼 사용권한이 높은 SP 방식을 따르는 것으로 설정하였고, 이를 (그림 2)와 같이 모사하였다.



(그림 2) EPON 버퍼 관리

버퍼 관리는 각 클래스 별 할당 버퍼를 AweSim의 전역 변수 중 하나인 XX[11], XX[12], XX[13], XX[14]를 통해 관리할 수 있도록 모델링 하였다. 여기에서, 만약 각 클래스 별 2Mbit씩의 버퍼를 할당한 경우에는 XX[11]=80000, XX[12]=60000, XX[13]=400000, XX[14]=200000으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하면 된다.

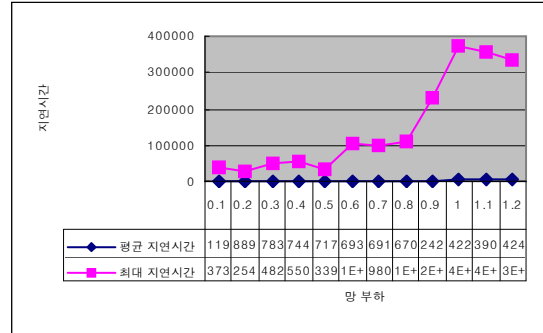
이 외에 상향 전송 서비스를 위한 대역폭 할당 및 전송 시작시간 결정 및 전송 서비스 실행을 위한 과정(WFBA 할당 방식)은 제4장의 것과 같으므로 여기에서는 생략하기로 한다. 이러한 모델에 대해 시뮬레이션은 400000 시뮬레이션 시간을 수행하였다. 이는 390번의 cycle (390.625 = 400000/1024)이 수행되는 시간으로, 일반적으로 대 표본으로 인정되는 최소한의 표본 크기인 30개보다 충분히 큰 시간이므로 시뮬레이션 초기 상태에 대한 영향은 거의 없을 것으로 생각한다.

4.2 시뮬레이션 성능

평균(mean) 및 최대(maximum) 지연시간(delay time), 지연시간 편차(standard deviation), 패킷 손실율(packet loss ratio), 대역 이용률(utilization) 등을 성능 척도로 하여 망의 부하에 따른 성능 척도의 변화를 AweSim을 이용하여 측정하였다. [5]

망 부하의 증가에 따른 평균 및 최대 지연시간(단위: us)에 대한 평가 결과는 (그림 3)과 같다. 망의 부하가 증가함에 따라 최대 지연시간도 증가하는 추세를 가지지만,

평균 지연시간은 증가하지 않는다. 이는 망의 부하가 증가되어도 평균적인 서비스 품질은 저하가 되지 않는 것을 의미하므로 WFBA를 이용한 E-PON을 이용하면 만족스런 서비스를 수행할 수 있다.



(그림 3) EPON의 지연시간

의 서비스 지연시간을 각 ONU별로 측정 한 결과, 망 부하가 0.8이하까지는 각 ONU 별 서비스 지연 시간에 차이는 거의 없는 공평성 서비스를 실시 할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 각 클래스 별 비교를 해보면, 클래스 1<클래스 2<클래스 3<클래스 4의 순으로 평균 서비스 시간이 작으며, 망의 부하가 0.8 이상일 때 시간 차가 더 커지는 것을 확인할 수 있는데, 이에 따라 ONU간 지연시간의 변동도 커지는 것으로 보인다. 또한, 망의 부하가 어느 정도 이상이 되면, 클래스 4에서부터 패킷의 손실이 발생한다.

이외에도 최대 지연시간, 버퍼점유량, 패킷 손실율 등에 대해서도 분석하였는데, 본 논문에서 제안하는 대역할당 알고리즘을 이용하면, 망의 부하가 증가함에 따라 이들 척도 값에 약간의 악화가 발생되지만 부하가 0.8일 때까지는 큰 변화가 없는 안정된 서비스를 할 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

EPON은 이더넷을 가입자 또는 최대한 가까운 거리까지 포설하여 이더넷을 일반 가입자에게 제공하는 것을 목적으로 하며, 이를 통해 확장된 대역폭을 제공함으로써 기존 가입자 네트워크의 병목현상을 제거하며 LAN의 90% 이상을 차지하고 있는 이더넷을 이용하여 단대단(End-to-End) 서비스를 가능하게 하는 기술이다.

본 연구는 기존의 제안된 대역 할당 알고리즘을 살펴보고, E연구소에서 개발한 MAC의 DBA 알고리즘을 위한

WFBA (Water-Filling Bandwidth Allocation)를 소개하고, 이의 성능을 AweSim을 이용하여 분석하였다. 여기서, 4개 유형의 QoS 등급 별 성능 분석을 통해 차별화된 서비스를 원활하게 할 수 있는 지를 평가하였는데, 망의 부하가 0.8 이하인 상황에서는 안정적인 서비스를 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 추가 연구로는, 타 시스템과의 비교 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 주운기 외 3인 (2005), “가입자 통신망을 위한 대역할당 알고리즘 성능 분석”, 2005년 한국경영과학회 춘계 학술대회 논문집, pp.361-364.
- [2] Y. Koucheryavy, D. Moltchanov, and J. Harju, (2006) “A Novel Two-step MPEG Traffic Modeling Algorithm based on a GBAR Process”, [www.cs.tuf.fi/tlt/npg/icefin/documents/GBAR-YK-DM-JHSent2.pdf](http://www.cs.tuf.fi/tlt/npg/icefin/documents/GBAR-YK-DM-JHSent2.pdf).
- [3] G. Kramer (2005), *Ethernet Passive Optical Networks*, McGraw-Hill,
- [4] G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye, and R. Hirth (2002) “Supporting Differentiated Classes of Service in Ethernet Passive Optical Networks”, *Journal of Optical Networking*, Vol.1, No.8&9, pp.280-298.
- [5] A.A.B. Pritsker and J.J. O’Reilly (1999) *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, Wiley.