

# 가입자 통신망을 위한 대역 할당 알고리즘 성능 분석

## Performance Evaluation of a Bandwidth Allocation Algorithm of E-PON

주윤기\*, 이상우\*\*, 김찬\*\*, 권율\*\*

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

\*\* 한국전자통신연구원 네트워크기술연구소 EPON기술팀

### Abstract

As increasing the Internet traffic, many researches on access network are reported for end-to-end high-speed broadband network, where E-PON(Ethernet-Passive Active Network) is one of reasonable candidate for the network with respect to cost and bandwidth utilization. For the high-speed access network, E-PON need an efficient bandwidth allocation method. This paper suggests a WFA(Water-Filling Allocation) algorithm for the efficient bandwidth allocation with various simulation test.

### 1. 서론

인터넷을 비롯한 광대역 멀티미디어 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 가입자 망의 고도화가 통신산업에서 큰 이슈가 되고 있다. 가입자 망 고도화는 FTTH(Fiber To The Home) 구축을 궁극적인 목표로 설정함과 동시에 수요와 공급의 차이를 극복시켜 줄 대체 기술들이 주목을 받고 있다. 지난 몇 년간 국간 망의 전송용량은 WDM 등의 기술을 이용해 테라급까지 증가하고 있고, LAN 및 메트로 망[7]의 전송속도도 10M나 100M급에서 출발해서 기가급까지 향상되고 있다. 이에 반해 가입자 망의 전송속도는 xDSL의 경우 수 Mbps에 그치고, 이론상 30Mbps까지 가능한 케이블 모뎀도 실제로는 0.4~1Mbps에 그치고 있어 가입자 망이 'last mile'로 존재하게 되었다. 따라서, 가입자 트래픽의 폭발적 증가를 감당하기 위해서는 결국 FTTH가 가입자 망의 궁극적인 형태가 되어야 할 것이다. 이를 구현하기 위한 광 액세스 기술에는 NG-SDH(Next Generation - Synchronous Digital Hierarchy), Metro Ethernet, PON(Passive Optical Network) 등의 다양한

PON(Passive Optical Network)은 다수의 ONU(Optical Network Unit)가 광섬유를 통해 하나의 OLT (Optical Line Terminal)를 공유하는 점대다점 (Point to Multipoint) 구조의 망이다. OLT는 중앙국(CO)에 존재하여 MAN, WAN, backbone 망 등을 ONU에 연계시키는 역할을 하고, ONU는 가입자나 최종 사용자 측에 위치하여 사용자 정보를 OLT와 주고 받는 역할을 한다.

PON의 유형은 ONU의 배치 형태에 따라, 그리고, 상향 트래픽 전송 충돌 문제 해결 방식에 따라서도 구분될 수 있다. [1] Ethernet-PON (E-PON)에서 ONU는 상향 트래픽을 전송하기 위하여 다른 ONU들과 망 자원을 공유하게 되고, OLT는 ONU간 공유된 망 자원의 접근 권한을 제한한다. 따라서 트리 구조의 E-PON에서 상향 데이터 전송 시 발생할 수 있는 충돌을 제거하고 동적으로 대역을 할당하기 위하여 공평하고 효율적인 MAC 프로토콜의 개발이 요구된다. 본 논문은 tree 구조의 E-PON에서의 대역폭 할당 알고리즘에 대한 것으로, E-PON을 위한 대역폭 알고리즘을 하나 제안하고 이에 대한 성능분석을 한다.

### 2. E-PON의 동작 방식

PON 방식은 1980년대 후반의 TPON(Telephony PON)을 시작으로, FSAN(Full Service Access Networks)의 155Mbps B-PON(Broadband PON), 622Mbps A-PON(ATM PON), G-PON(Gigabit PON), 그리고 EFM(Ethernet in the First Mile)의 1Gbps급 E-PON(Ethernet PON)등 FTTH와 FTTB(Fiber To The Building)를 위해 다양한 형태로 발전되고 오고 있다.

First Mile(가입자택내와 인접국사 또는 인접 중계 노드간)에 이더넷을 도입하는 것을 목적으로 하는 EFM(Ethernet in the First Mile) SG가 2000년 11월에 결성되었고, 여기에서 E-PON에 대한 표준화(IEEE 802.3ah)를 진행하였다. 이러한 장점을 활용하기 위한 노력이 IEEE802.3ah에서 진행되었다. E-PON의 상향 TDMA 제어를 위한 규정한 것이 MPCP(Multi Point Control Protocol)인데, 이를 위해서 GRANT, REPORT, REGISTER\_REQ, REGISTER, REGISTER\_ACK의 5개의 새로운 MAC Control Frame (MPCP-DU)들이 새롭게 정의하여 표준화하였다. 그러나, IEEE802.3ah에서는 이들 프레임의 활용 절차에 대한 구체적인 것은 규정하고 있지 않으므로 각 개발되는 E-PON 별 DBA 방식이나 트래픽 제어 방식에 차이가 있을 수 있고, 이러한 차이는 개발 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다.

MPCP의 프레임은 MPCP-DU(MPCP-Data Unit)라고도 불리는 것으로, E-PON 프레임의 가변적인 길이의 페이로드인 Payload 중 최소 크기인 46바이트를 OpCO, Timestamp, 그리고 Opcode-specific fields 등으로 나눠서 사용하는 구조로, 제어를 위해서는 이더넷 프레임의 header인 DA, SA, Length/Type을 그대로 활용하는 구조이다. MPCP-DU내의 'OpCode-specific fields'에는 GATE, REPORT, REGISTER\_REQ, REGISTER, 또는 REGISTER\_ACK의 5가지 중 하나를 담아서 OLT와 ONU간 정보를 교환한다. 상향 트래픽을 위한 전송 대역 설정 방식은 미리 정해진 양 만큼씩만 배정하는 SBA(Static Bandwidth Allocation) 방식과 트래픽 요구량에 따라 가변적으로 대역 배정량을 변동하는 DBA(Dynamic Bandwidth Allocation) 방식이 있다. 이러한 대역폭 할당을 수행하는 방식으로도 중앙제어(centralized) 방식과 분산제어(distributed) 방식이 있을 수 있다. 중앙제어 방식은 OLT에서 모든 ONU에 대한 대역 할당을 하는 방식이고, 분산제어 방식은 각 ONU에서 자신의 대역폭 할당을 담당하는 방식이다. 그러나, 분산 제어를 위해서는 각 ONU가 망 내의 다른 ONU의 상태 정보를 모두 알고 있어야 하므로 ONU간 연결을 위한 광 섬유나 장치가 필요하다는 문제가 있다. E-PON의 표준화를 위한 기관인 IEEE802.3ah에서는 IEEE 802.3의 규격 중에서 상향 트래픽 전송을 위한 규격으로 CSMA/CD 방식대신 TDMA 방식을 채택하였고, 분산제어 대신 집중 제어 방식의 대역폭 할당

방식을 채택하였다.

### 3. E-PON의 대역 알고리즘

E-PON에서 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 E-PON 구조에서 상향 데이터 전송 시 발생할 수 있는 충돌을 제거하고 동적으로 대역을 할당할 뿐만 아니라 E-PON 시스템의 성능을 향상시키기 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  $i$ 의 전송 요구량(TQ),  $i=1,2,\dots,N$ ;  $w_i$  : ONU  $i$ 의 중요도,  $\sum_{i=1}^N w_i = 1$ ;  $B_i^{\min}$  : OLT의 MAC Control client가 관리하는, ONU  $i$ 에 대한 최소한의 할당량(TQ);  $B_i^{\max}$  : ONU  $i$ 에 대한 최대한의 할당량(TQ);  $B_i^s$  : ONU  $i$ 에 할당된 대역폭(TQ),  $B_i^{\min} \leq B_i^s \leq B_i^{\max}$ ;  $T_{cycle}$  : 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  $B_i^s$ 를 갖도록 하는 방식이다. SBA는 만약 ONU  $i$ 의 요구량  $R_i$ 가  $B_i^s$ 보다 작다면,  $R_i$ 만큼의 데이터를 전송한 후, 나머지 대역폭인 ( $B_i^s - R_i$ )는 idle 상태로 대역을 낭비하게 되는 문제가 있다.

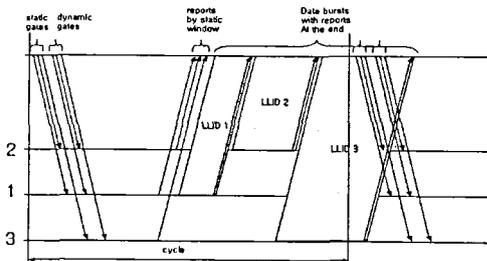
#### 3.2 제안하는 알고리즘

동적 대역 할당 방식(DBA: Dynamic Bandwidth Allocation)은 할당되는 대역폭  $B_i^s$ 이 각 cycle마다  $R_i$ 에 따라 변동되는

형태의 할당 방식으로, IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time) 방식[2], 이단계 버퍼링 방식(two-stage buffer)[3], EDDBA(Enhanced DBA) 방식[4], HSSR(Hybrid Slot-Size/Rate) 방식[5], WFBA(Water-Filling Bandwidth Allocation) 등이 있다.

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 REPORT도 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) ONU에서는 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) WFBA 방식의 절차

#### 4. E-PON 대역할당 알고리즘 성능 평가

##### 4.1 대역 할당 알고리즘 파라미터

본 장에서는 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 측정한다. 이를 위해 고려한 파라미터는 (표 1)과 같다.

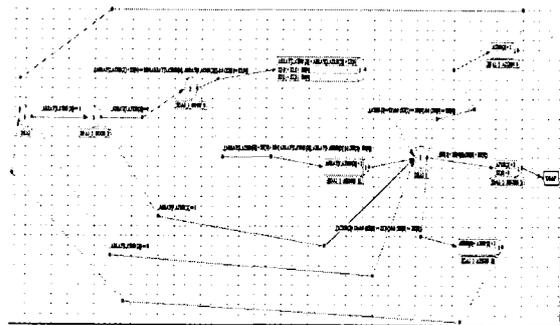
(표 1) 시뮬레이션을 위한 파라미터 값

기호	전형적인 값
N	32개
R	1 Kbit/μs
Q	8000 Kbit
L	2km~20km
RTT	6.66~66.6 μs
$f_i(t)$	파레토 분포(감마분포로 근사화)
$B_i^{\min}$	0.672 μs
G	1.856 μs
$B_i^{\max}$	125 μs 등으로 임의로 설정 가능
$T_{cycle}$	1024 μs 등으로 설정 가능
$T_{sGate}$	0 (각 cycle의 시작시점)
$T_{dGate}$	0.1 μs
S	5 μs 등의 임의의 값

##### 4.2 시뮬레이션 성능 분석

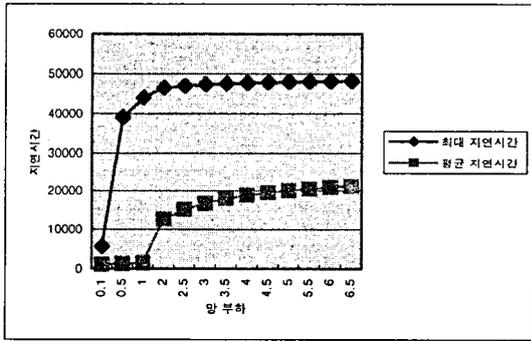
본 장에서는 범용의 시뮬레이션 도구 중 성능 분석에 주로 이용되는 AweSim![6]을 이용하여 시뮬레이션을 한다.

모델링은 트래픽 발생 모듈, 상향 패킷 전송 모듈, 정적 대역폭 할당 및 동적 대역 할당과 Grant Time 결정, REPORT 메시지 방송 모듈 등으로 구성하였는데, (그림 2)는 동적 대역 할당 과정을 모사한 것이다.



(그림 2) 동적 대역 할당

망의 부하 증가에 따른 지연시간 평가 결과는 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 망 부하에 따른 지연시간

망의 부하가 1일 때까지는 평균 지연 시간이 작은 값으로 유지하다가 2이상이면 급격히 상승한 후 망의 부하에 따른 서서히 증가하는 형태를 가짐을 알 수 있다. 그리고, 최대 지연 시간의 경우도 평균 지연 시간과 유사한 형태를 지니는데, 망 부하가 2이상에서 평균 지연시간 및 최대 지연시간의 급격한 증가가 없는 형태를 가지는 것은 안정된 서비스를 해 줄 수 있다는 점에서 바람직한 성질로 판단된다. 이 외에 이용률은 DBA를 위한 각종 overhead, 트래픽 특성, 물 바가지 용량 등에도 영향을 받는다. 따라서, 이들에 대한 분석도 실시하였는데, 망의 부하가 증가함에 따라 지터(jitter)도 증가하는 형태를 가졌고, 물 바가지의 용량을 S = 1, 10, 20, 30, 40과 같이 다르게 설정함에 따른 성능 변화는 크지 않음을 확인할 수 있다. 그리고, active ONU의 개수가 N=1, 8, 16, 24로 변함에 따른 대역폭 이용률 및 지연시간 성능 분석 결과, active ONU 수가 많아질수록 평균 및 최대 지연 시간은 증가한다는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 물 채우기 알고리즘의 적용 환경 하에서는 원하는 성능을 위한 적절한 수의 ONU를 설치할 필요가 있으므로, ONU의 추가 및 제거가 성능에 큰 영향을 줄 수 있는 알고리즘이라고 판단할 수 있다.

## 5. 결론

E-PON은 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 알고리즘인 WFBA(Water-Filling Bandwidth Allocation)를 분석하였다. WFBA의 작동 방법을 살펴보고 시뮬레이션을 위한 모델링을 하였으며, 동적인 트래픽의 변화에 따른 AweSim을 이용한 지연 시간 및 대역폭 이용률에 대한 성능 분석을 하였다. 비록 IEEE 802.3ah 는 ONU간 스케줄링까지는 적용 범위로 하고 있지만, 가입자 트래픽 별 QoS 보장위해 필요한 ONU내에서의 스케줄링 방안에 대한 추가 연구가 필요한 상태이다.

## 참고문헌

- [1] G. Kramer, *Ethernet Passive Optical Networks*, McGraw-Hill, 2005.
- [2] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON (E-PON)", *IEEE Communications Magazine*, 2002, pp.74-80.
- [3] G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye, and R. Hirth, "Supporting Differentiated Classes of Service in Ethernet Passive Optical Networks", *Journal of Optical Networking*, 2002, Vol.1, No.8&9, pp.280-298.
- [4] C.M. Assi, Y. Ye, S. Dixit, and M.A. Ali, "Dynamic Bandwidth Allocation for Quality-of-Service over Ethernet PONs", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2003, Vol.21, No.9, pp.1467-1477.
- [5] F.-T. An, H. Bae, Y.-L. Hsueh, K.S. Kim, M.S. Rogge, and L.G. Kazovsky, "A New Media Access Control Protocol Guaranteeing Fairness among Users in Ethernet-based Passive Optical Networks", *IEEE OFC*, 2003, Vol.1, pp134-136.
- [6] A.A.B. Pritsker and J.J. O'Reilly, *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, Wiley, 1999.
- [7] U.G. Joo, "Heuristic Algorithms for Efficient Routing on RPR", *WSEAS Transactions on Communications*, 2005, Issue 12, Vol.4, pp.1411-1418.