

논문 2006-43TC-5-12

EPON 시스템에서 효율적인 QoS 제공을 위한 Class Gated 동적 대역 할당 알고리즘

(Class Gated Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for supporting QoS in the EPON)

황준호*, 김호원*, 유명식**

(Junho Hwang, Hyowon Kim, and Myungsik Yoo)

요약

Ethernet Passive Optical Network (EPON)는 높은 효율성과 경제성 등의 장점을 바탕으로 초기 FTTH (Fiber To The Home) 구성을 위한 최적의 가입자망으로 많은 연구가 진행되고 있다. EPON의 상향 전송은 다수의 ONU (Optical Network Unit)가 단일 링크의 대역폭을 공유하기 때문에 동적으로 자원을 할당하는 자원 관리가 매우 중요하고, 자원 관리를 위한 다양한 동적 할당 방식이 제안되었다. EPON 시스템에서 QoS 지원을 위한 기존의 대역 할당 방식들은 SPQ (Strict Priority Queueing) 방식을 사용하였다. SPQ 방식은 높은 우선 순위를 가진 서비스 클래스에 대해서는 우선적 서비스를 보장해 주기 때문에 하위 서비스 클래스에 대한 QoS 성능을 감소시키는 원인이 될 수 있다. 본 논문에서는 서비스 클래스 단위로 대역폭을 요청/할당 하는 Class Gated DBA 알고리즘을 제안한다. Class Gated DBA 알고리즘에서는 높은 우선 순위를 가진 서비스 클래스가 대역폭을 독점하는 현상을 방지하기 위해 각 서비스 클래스에 할당되는 최대 할당 대역폭을 설정한다. 그리고 높은 대역폭을 요구하는 ONU들에 대해서도 클래스 특성에 맞는 공평성 기반 대역 할당 알고리즘을 수행한다. 이와 같은 Class Gated DBA 알고리즘의 성능 분석을 위해 모의 실험을 수행하였고, 모의 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 Class Gated DBA 알고리즘이 보다 좋은 QoS 성능을 보임과 동시에 사용자 사이에서 향상된 공평성을 제공할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

Ethernet passive optical network (EPON) has drawn many attention as a promising access network technology for FTTH because it can provide a high bandwidth with a low cost. Since the uplink bandwidth in the EPON system is shared by many users, it is necessary for an EPON system to have an efficient bandwidth allocation mechanism. To support QoS in EPON, the previous bandwidth allocation schemes employ strict priority queueing (SPQ). Since SPQ gives unlimited priority to higher service class, the QoS of lower service classes gets worse. In this paper, we propose Class Gated DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) algorithm in which the bandwidth is requested / granted in a service class basis. To avoid the monopoly in bandwidth usage by higher classes the maximum bandwidth that is allocate to each service class is limited (fairness between services classes). In addition, to avoid the monopoly in bandwidth usage by some particular users, each ONU runs fairness bandwidth allocation algorithm within each service classes. Through computer simulations, it is verified that the proposed algorithm achieves a good level of QoS, and at the same time maintains a good level of fairness between both service classes and users.

Keywords : FTTH, Ethernet PON, 상향 전송, 동적 대역 할당, QoS

I. 서론

* 학생회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어 졌음

접수일자: 2006년4월8일, 수정완료일: 2006년5월15일

최근 들어 인터넷 서비스의 다양화와 급속한 발전으로 인하여 백본망과 가입자망 사이의 병목현상에 대한 문제점이 가중되고 있다. 현재 xDSL 기반의 가입자망

은 사용자에게 낮은 대역폭과 단순한 서비스만을 제공하고 있다. 이러한 병목현상에 의한 문제점 증가는 새로운 차세대 광 가입자망의 필요성을 야기하였다. 차세대 광 가입자망의 경우 사용자에게 높은 대역폭과 사용자가 요구하는 서비스에 알맞은 QoS를 제공하는데 중점을 두고 있다. 이러한 필요성에 의해 많은 연구가 진행되고 있는 것이 수동형 광소자를 사용하여 광 가입자망을 구성하는 PON (Passive Optical Network) 기술이다^{[1][2]}.

PON 기술은 점 대 다점 (Point to Multipoint)을 수동형 광 분배기를 사용하여 연결한 차세대 광 가입자망 기술로서, PON 기술을 기반으로 차세대 가입자망은 ATM, WDM, Ethernet 기술 등을 접목시키는 형태로 진화하고 있다. 특히 Ethernet 기술을 PON 환경에 결합시킨 EPON에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그림 1은 EPON의 구성도를 나타내고 있다. EPON 시스템은 하나의 OLT (Optical Line Terminal)과 다수의 ONU (Optical Networks Units) 들이 수동형 광 분배기를 통해 트리구조로 연결된 형태를 가지고 있다^[3].

이러한 EPON 시스템에서의 데이터 전송은 OLT에서 ONU로의 하향 전송과 ONU에서 OLT로의 상향 전송, 두 가지 형태로 구분된다. 하향 전송의 경우 OLT에 연결되어 있는 모든 ONU에게 브로드캐스트 방식으로 데이터를 전송한다. 반면 상향 전송의 경우 다수의 ONU가 단일 파장으로부터 제공되는 대역폭을 TDMA방식으로 공유, 할당 받아 OLT로의 데이터 전송이 유니캐스트 방식으로 수행된다. 특히, 상향 전송에 있어서 OLT는 각 ONU에게 공유된 대역폭을 할당해 주는 중요한 역할을 수행하게 되고, 이를 대역 할당 (Bandwidth Allocation : BA)이라 한다^[4]. 대역 할당 방식은 고정된 대역폭을 할당 하는 고정 대역 할당 방식 (Fixed Bandwidth Allocation : FBA)과 트래픽 상황에 동적으로 변화하는 대역 할당을 수행하

는 동적 대역 할당 방식 (Dynamic Bandwidth Allocation : DBA)으로 나뉜다. 이러한 대역 할당 방식은 원활한 서비스 제공을 위해 대역폭을 효율적으로 분배하는 역할뿐만 아니라 서비스 클래스별 QoS를 지원하여야 한다.

QoS 지원을 위해 연구되었던 기존의 대역 할당 방식들은 각 클래스에 대해 단순히 SPQ (Strict Priority Queueing) 방식^[5]을 사용하여 데이터를 전송하였다. 그중 Limited 방식에 SPQ 방식을 결합하여 QoS를 지원하고자 하는 Limited+SPQ 방식^{[4][5]}과 대역폭 할당을 특정 시점에서 수행하는 변형된 Limited+SPQ1 방식^[6]이 있다. 하지만 두 방식 모두 기존의 SPQ 방식을 사용하여 야기되는 ONU간 공평성 문제 및 하위 우선 순위 서비스 클래스에 대한 낮은 대역폭 할당 및 높은 패킷 전송 지연 등의 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점 해결을 위해 본 논문에서는 EPON 시스템의 효율성 증가와 효과적인 QoS 제공을 위해 새로운 동적 대역 할당 방식을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 동적 대역 할당 방식은 서비스 클래스별 독립적인 REPORT/GATE 메시지를 사용하여 대역폭을 할당받기 때문에 Class Gated라 명명하였다. Class Gated DBA 알고리즘의 주요 특징은 우선순위가 높은 서비스 클래스에 대해 가장 안정적인 QoS 제공에 있으며, 그에 반해 우선순위가 낮은 서비스 클래스에 대해선 서비스 클래스 특성을 고려한 사용자간 공평성을 제공하는데 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 기존에 제안되었던 QoS 지원을 위한 대역 할당 방식들의 대역 할당 과정을 살펴보고, 그에 따른 QoS 지원의 장단점을 분석하였으며, III장에서는 본 논문에서 제안하는 Class Gated DBA 알고리즘의 대역 할당 과정과 각 클래스별 QoS 제공 방안 및 사용자간 공평성 유지 방법 등을 설명한다. 이어 IV장에서는 Class Gated DBA 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의실험 환경 및 모의실험 결과를 성능 분석하였으며, 마지막으로 V장에서는 결론과 향후 과제에 대해 기술하였다.

II. QoS 지원을 위한 동적 대역 할당 방식

EPON 시스템의 데이터 전송은 IEEE 802.3ah MPCP (Multi-Point Control Protocol)에 기반을 둔 REPORT 메시지와 GATE 메시지의 교환을 통해 이루어진다^[7]. 일반적인 EPON 시스템의 ONU는 사용자로부터 유입되는 사용자 트래픽을 ONU 내에 존재하는 버퍼에 저

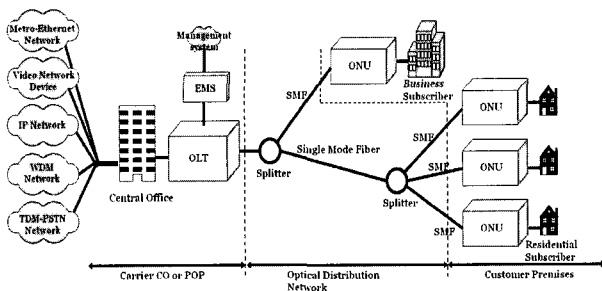


그림 1. EPON 시스템 구성도
Fig. 1. EPON system Architecture.

장한다. 이때 버퍼는 QoS 레벨에 따라 각각 존재할 수 있다. 이렇게 저장된 패킷은 REPORT 메시지를 통해 OLT에게 보고되고 OLT는 GATE 메시지를 통해 각 ONU에게 대역폭을 할당한다.

본 절에서는 QoS 지원을 위해 제안되었던 Limited+SPQ 방식과 변형된 Limited 방식을 사용하는 Limited+SPQ1 방식에 대한 대역 할당 방법 및 방식별 장단점을 설명한다.

1. Limited 방식

Limited 방식은 각 ONU가 할당 받을 수 있는 할당 대역폭의 크기를 최대 할당 대역폭 (W_{max})로 제한한다. 따라서 ONU가 최대 할당 대역폭 보다 작은 대역폭을 요청할 경우 요청한 대역폭 모두를 할당해 주지만, ONU가 요청한 대역폭이 최대 할당 대역폭을 넘을 경우 해당 ONU에 할당 되는 대역폭은 최대 할당 대역폭 (W_{max})으로 제한한다. 이러한 Limited 방식은 트래픽 상황에 동적으로 대역폭을 할당할 수 있지만, 급격한 트래픽 변화가 발생하거나 불균형한 트래픽이 발생할 경우 대처 능력이 현저히 떨어지고, QoS지원 측면에서는 한계점 가지고 있다는 단점이 존재한다.

2. Limited+SPQ 방식

Limtied+SPQ 방식은 기존의 Limited 방식에 QoS 제공을 위해 트래픽 클래스별 버퍼의 전송 방식 중 SPQ 방식을 결합한 동적 대역 할당 방식이다. 일반적으로 SPQ 방식은 우선순위가 높은 트래픽에 대해서는 좋은 QoS 지원이 가능하지만, 그 이하 트래픽 클래스들은 성능이 현저히 저하되는 단점을 가지고 있어 효율적인 QoS 지원에 어려움이 있다. 또한 Limited 방식은 QoS 지원을 위해 제안된 DBA 방식이 아니므로 QoS 성능 향상에 한계점이 있다.

3. 변형된 Limited+SPQ 방식 (Limited+SPQ1)

Limited+SPQ1^[6] 방식은 Limited+SPQ 방식의 변형으로 OLT는 모든 ONU로부터 요청 대역폭을 보고 받은 후 ONU N(=마지막 ONU)의 데이터 전송이 끝나는 시점을 기준으로 모든 ONU에게 할당할 대역폭을 계산하게 된다. Limited+SPQ1 방식의 대역폭 할당 방법은 기존 Limited 방식과 유사하게 최대 할당 대역폭을 이용하지만 ONU의 요청 대역폭이 최대 할당 대역폭 보다 클 경우 다른 ONU들이 사용하지 못한 여분의 대역폭의 추가로 할당한다. 이러한 Limited+SPQ1 방식은 대

역폭 할당에 있어서 향상된 효율성을 보이나 특정 순간에 N개의 모든 ONU의 할당 대역폭을 결정하기 때문에 높은 패킷 전송 지연을 야기한다는 단점이 있다.

III. Class Gated DBA 알고리즘

1. Class Gated DBA 알고리즘의 특징

기존 대역 할당 방식들은 ONU 단위로 대역폭을 요청/할당하였으며, QoS 지원을 위하여 ONU 내의 큐잉 정책 (Policy)은 SPQ 방식을 사용하였다. 본 논문에서 제안하는 Class Gated DBA 알고리즘은 기존의 대역 할당 방식과 마찬가지로 Polling 기반의 대역 할당을 기반으로 한다. 그러나 Class Gated DBA 알고리즘은 기존의 대역 할당 방식들과 달리 ONU내의 서비스 클래스마다 독립적인 REPORT/GATE 메시지를 교환하여 ONU 단위가 아닌 ONU 내의 서비스 클래스 단위로 대역폭을 요청/할당 받는다. 그림 2는 기존 ONU 단위에서의 REPORT/GATE 메시지를 통한 대역 할당 방식과 Class Gated DBA 알고리즘에서의 서비스 클래스별 REPORT/GATE 메시지를 통한 대역 할당 방법의 비교를 도시하고 있다. 또한 Class Gated DBA 알고리즘의 자세한 대역 할당 과정은 그림 3에 도시하였다. 이때 Class Gated DBA 알고리즘은 고정된 사이클 시간 사용을 원칙으로 한다.

Class Gated DBA 알고리즘은 가장 높은 우선순위를

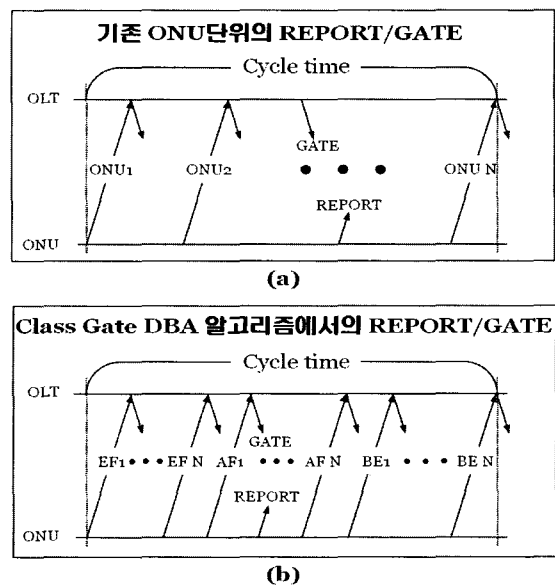


그림 2. 대역 요청/할당 (a) ONU 단위 (b)서비스 클래스 단위
Fig. 2. Bandwidth request/grant (a) per ONU (b) per service class.

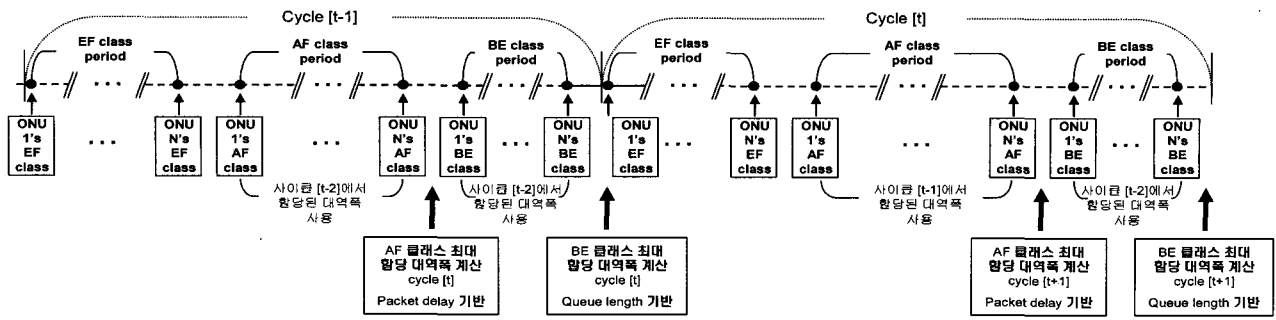


그림 3. Class Gated DBA 알고리즘의 대역 할당 과정
Fig. 3. Bandwidth Allocation in Class Gated DBA algorithm.

지난 EF 클래스^[5]에 대해 한 사이클의 일부 (예 : 30% 대역폭)를 EF 클래스 전용으로 설정한다. 전용 대역 설정량은 총 EF 클래스의 발생량이 전체 링크에 차지하는 비중을 기준으로 조절 가능하다. EF 클래스는 전용 대역폭 한도 내에서 EF 클래스가 요청한 대역폭을 수용하게 된다. 또한 EF 클래스들의 총 요구량이 전용 대역폭을 초과한 경우, EF 클래스의 QoS 보장과 다른 클래스들의 원활한 QoS 지원을 위해 Call Admission 기능을 통해 초과 할당을 제한한다. 상기와 같은 기능을 통해 EF 클래스는 낮은 패킷 전송 지연과 낮은 지터 및 높은 전송률 등의 우수한 QoS 지원이 가능하다.

AF 클래스^[5]의 경우 VoD (Video on Demand)나 실시간 데이터 서비스를 지원하는 VBR (Variable Bit Rate) 형태의 서비스를 목적으로 하기 때문에 각 ONU에게 높은 전송률, 낮은 패킷 전송 지연 및 사용자간 성능 공평성 등을 원하여야 한다. 이를 위해 Class Gated DBA 알고리즘에서는 AF 클래스를 EF 클래스의 다음 우선순위로 설정하고, 사이클에서 일정한 전용 대역폭 (예 : 60% 대역폭)을 설정한다. 전용 대역폭 설정은 EF 클래스의 발생량과 AF 클래스의 발생량에 비례하게 조절이 가능하다. 따라서 각 ONU의 AF 클래스는 높은 전송률과 낮은 패킷 지연 및 사용자간 공평성 등의 안정적인 QoS 보장이 가능하다. 특히, 특정 ONU의 AF 클래스에게만 높은 품질의 서비스가 제공되는 것을 방지하기 위하여, 각 AF 클래스는 패킷 지연 공평성 기반에 따라 대역을 할당 받는다. 이러한 대역 할당 방법은 낮은 패킷 전송 지연을 요구하는 AF 클래스 특성에 따라 사용자 간 패킷 지연 기반의 공평성을 유지하기 위함이다. 또한 EF 클래스의 Call Admission 기능을 통해 AF 클래스의 QoS 지원이 불안정해지는 것을 방지한다. 이러한 패킷 지연 기반의 공평성 유지에 대한 설명은 이후에 설명될 클래스별 QoS 지원 방안에서 자세히 언

급한다.

마지막으로 BE 클래스^[5]는 가장 낮은 우선 순위를 갖지만 Class Gated DBA 알고리즘에서는 최소 대역폭의 보장 및 큐 길이 기반의 대역폭 할당을 통해 BE 클래스의 원활한 QoS 지원 및 사용자간 대역 할당의 공평성 유지 능력을 향상 시킨다.

이와 같은 Class Gated DBA 알고리즘의 서비스 클래스별 QoS 지원 방안을 기반으로 보다 우수한 EPON 시스템의 QoS 지원이 가능하다.

2. Class Gated DBA 알고리즘의 대역 요청/할당 과정

Class Gated DBA 알고리즘의 대역 할당 과정 및 QoS 지원 방안을 자세히 살펴보면, 먼저 OLT와 ONU^{[i][j]} 간 대역폭 할당 과정 및 데이터 전송 과정은 다음과 같다. 이때 [i]는 ONU의 ID를 의미하고, [j]는 ONU 내의 서비스 클래스 번호를 지칭한다. 본 논문에서는 EF 클래스를 1번, AF 클래스를 2번 그리고 BE 클래스는 3번으로 설정하였다.

ONU^{[i][j]}번재의 경우

OLT로부터 GATE ^{[i][j]} 메시지 수신 GATE ^{[i][j]} 메시지 내 할당 대역폭의 크기만큼 데이터 전송 대기 큐의 크기에 의해 요청 대역폭 결정 및 REPORT ^{[i][j]} 메시지 송신
--

이와 같이 ONU^{[i][j]}번재의 대역폭의 할당 및 데이터 전송이 이루어지고, OLT 측의 경우 ONU^{[i][j]}로부터

REPORT ^{[i][j]} 메시지 수신 서비스 클래스 우선순위에 따른 DBA 수행 GATE ^{[i][j]} 메시지 송신

의 세 단계로 이루어진다.

3. 서비스 클래스별 DBA 수행과정

Class Gated DBA 알고리즘에서 서비스 클래스 우선 순위별 DBA 수행 과정은 다음과 같다. 이때 사이클 내에 사용 가능한 각 서비스 클래스 대역폭 계산 과정은 사이클 마다 한 번씩만 수행한다.

먼저 ONU^{[i][1]}인 EF 클래스의 경우, OLT에서 대역할당은 다음과 같이 이루어진다.

사이클 내에 사용 가능한 EF 클래스 대역폭 계산

- $BW_{EF} = cycle_time \times R \times Ratio_{EF}$
 - $R = EPON\ Line\ Rate$
 - $Ratio_{EF} = EF\ 클래스\ 전용\ 대역폭\ 비율$
- 각 ONU^{[i][1]}인 EF 클래스의 할당 대역폭 계산
- If ($BW_{EF} \leq 0$) {
 - then $ONU^{[i][1]}_{grant} = ONU^{[i][1]}_{request}$
 - $BW_{EF} = BW_{EF} - ONU^{[i][1]}_{grant}$
- Else {
 - Call Admission 수행
 - $ONU^{[i][1]}_{grant} = 0$

ONU^{[i][2]}인 AF 클래스의 경우, OLT에 대역할당은 다음과 같이 이루어진다.

사이클 내에 사용 가능한 AF 클래스 대역폭 계산

- $BW_{AF} = cycle_time \times R \times Ratio_{AF} + BW_{EF_re}$
 - $R = EPON\ Line\ Rate$
 - $Ratio_{AF} = AF\ 클래스\ 전용\ 대역폭\ 비율$
 - $BE_{EF_re} = EF\ 클래스가\ 사용하고\ 남은\ 대역폭$
- ONU^{[i][2]} 평균 패킷 지연 계산
- $avg_delay^{[i][2]}[t-1] = (1-\alpha) \times avg_delay^{[i][2]}[t-2] + \alpha \times delay^{[i][2]}[t-1]$
 - $avg_delay^{[i][2]} = ONU^{[i][2]}$ 의 평균 패킷 지연
 - $delay^{[i][2]} =$ 각 사이클에서 발생하는 ONU^{[i][2]}의 패킷 지연
- 사이클 [t-1] 구간의 전체 AF 클래스 평균 패킷 지연 계산
- $Total_avg_delay_{AF}[t-1] = \sum_{i=1}^N avg_delay^{[i][2]}[t-1]$
- 각 ONU^{[i][2]}인 AF 클래스별 최대 할당 대역폭 계산
- $W_{AF,max}^{[i][2]} = \frac{avg_delay^{[i][2]}[t-1]}{Total_avg_delay_{AF}[t-1]} \times BW_{AF}$

상기의 과정을 거쳐 사이클 t에 사용될 AF 클래스의 최대 할당 대역폭 ($W_{AF,max}$)을 계산하게 되고, 요청 대역폭에 대해 Limited 방식과 동일하게 최대 할당 대역폭 이하로 대역폭을

할당하게 된다. 이때 요청 대역폭 보다 AF 최대 할당 대역폭 이 클 경우 남은 대역폭은 아직 대역폭을 할당 받지 못한 다른 AF 클래스에게 평균 패킷 지연에 비례하게 재분배한다.

마지막으로 ONU^{[i][3]}인 BE 클래스의 경우, OLT에 대역 할당은 다음과 같이 이루어진다.

사이클 내에 사용 가능한 BE 클래스 대역폭 계산

- $BW_{BE} = cycle_time \times R \times Ratio_{BE} + BW_{AF_re}$
 - $R = EPON\ Line\ Rate$
 - $Ratio_{BE} = BE\ 클래스\ 전용\ 대역폭\ 비율$
 - $BE_{AF_re} = AF\ 클래스가\ 사용하고\ 남은\ 대역폭$
- ONU^{[i][3]} 평균 큐 길이 계산
- $avg_QL^{[i][3]}[t-1] = (1-\alpha) \times avg_QL^{[i][3]}[t-2] + \alpha \times QL^{[i][3]}[t-1]$
 - $avg_QL^{[i][3]} = ONU^{[i][3]}$ 의 평균 큐 길이
 - $QL^{[i][3]} =$ 각 사이클에서 발생하는 ONU^{[i][3]}의 큐 길이 (Queue Length)
- 사이클 [t-1] 구간의 전체 BE 클래스 평균 큐 길이 계산
- $Total_avg_QL_{BE}[t-1] = \sum_{i=1}^N avg_QL^{[i][3]}[t-1]$
- 각 ONU^{[i][3]}인 BE 클래스별 최대 할당 대역폭 계산
- $W_{BE,max}^{[i][2]} = \frac{avg_QL^{[i][3]}[t-1]}{Total_avg_QL_{BE}[t-1]} \times BW_{BE}$

와 같이 BE 클래스 최대 할당 대역폭 ($W_{BE,max}$)을 이용해 AF 클래스의 대역 할당 과정과 동일하게 대역폭을 할당한다.

이러한 Class Gated DBA 알고리즘에서는 각 클래스에 대한 QoS 지원을 위해, REPORT 메시지 내에 앞서 설명한 대역폭 계산과정을 수행하기 위한 각 클래스의

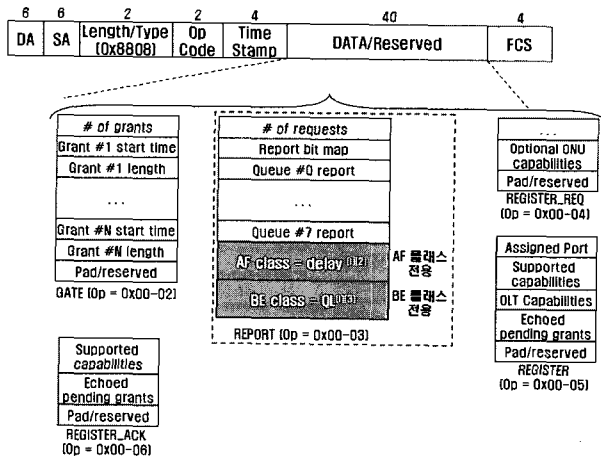


그림 4. Class Gated DBA 알고리즘의 REPORT 메시지 Fig. 4. REPORT message of Class Gated DBA algorithm.

정보를 추가적으로 전송한다. 그에 따라 AF 클래스의 경우 사이클 [t-1]에서의 평균 패킷 지연을 BE 클래스의 경우 사이클 [t-1]에서의 평균 큐 길이를 REPORT 메시지에 포함한다. 이러한 REPORT 메시지^[7]의 형태는 그림 4와 같다.

IV. 모의실험

1. 모의실험 모델과 관련 파라미터

Class Gated 알고리즘의 성능 평가를 위해 C 언어 기반의 시뮬레이션 환경을 구현하였다. EPON 시스템 시뮬레이터는 하나의 OLT와 16 개의 ONU로 구성되어 있으며, 각 ONU는 EF, AF, BE 클래스의 전송 큐를 갖는다. EF 클래스는 VoIP 서비스의 특성을 가진 CBR (Constant Bit Rate) 형태로 발생되고, AF 클래스의 경우 실시간 동영상 스트리밍 서비스의 특성을 가진 VBR (Variable Bit Rate) 형태로 발생된다. 마지막으로 BE 클래스의 경우 일반적인 인터넷 트래픽을 가정하였고 AF 클래스와 같이 VBR 형태로 발생된다. 서비스 클래스별 트래픽 발생량은 EF 클래스가 T1 over Ethernet을 고려하여 70Bytes의 고정된 패킷 크기를 가지고 125μsec 간격으로 총 4.48Mbps를 생성하며, AF 클래스와 BE 클래스는 EF 클래스를 제외한 전체 트래픽에서 각각 50% 비율을 차지한다고 가정하였다.

예로, 트래픽 부하가 1.0인 경우 발생되어야 하는 전체 트래픽은 1Gbps 이고, 그 중에 EF 클래스는 16개의 ONU에서 각각 4.48Mbps를 생성하여 총 71.68 Mbps로 발생되고, EF 클래스를 제외한 928.32 Mbps에서 AF 클래스와 BE 클래스는 각각 50% 씩 차지하여 각각 464.16Mbps로 트래픽을 발생한다. 이러한 AF 클레

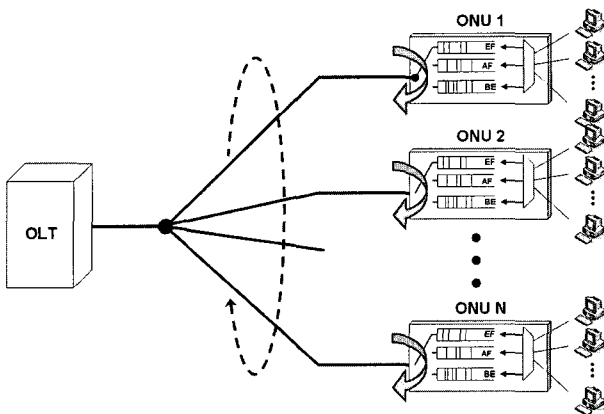


그림 5. 모의실험 모델
Fig. 5. Simulation topology.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameter.

파라미터	값
Number of ONUs	16
Number of Priority Classes	3
EPON Line Rate (R Gbps)	R = 1
Buffer Size (Mbytes)	10
EF : AF : BE (%)	30 : 60 : 10
Distance between OLT and ONU (Km)	10 (=RTT 100μs)
Guard Time (μs)	1
Cycle time (msec)	0.3

스와 BE 클래스의 패킷 크기는 64Bytes~1518Bytes 이며, 자기 유성 특성 (Self-Similarity)의 Pareto 분포에 따라 발생된다^[8]. 표 1은 이러한 시뮬레이션에서 사용된 파라미터들을 정리한 것이고, 그림 5는 시뮬레이션 토폴로지를 도시하고 있다.

또한 보다 다양한 트래픽 환경에서 Class Gated DBA 알고리즘의 성능을 분석하기 위해, 균형적인 트래픽 환경과 불균형적인 트래픽 환경을 구현하였다. 균형적인 트래픽 환경은 N개의 ONU가 동일한 트래픽 발생량을 갖는 트래픽 환경을 말하며, 불균형적인 트래픽 환경은 특정 ONU들이 총 트래픽 발생량의 80%를 차지하는 환경을 말한다. 불균형 트래픽 환경 모의실험에서는 ONU 1 ~ ONU 4번이 총 80% 트래픽을 발생시킨다.

2. 모의실험 결과 및 성능 분석

그림 6은 균형적인 트래픽 환경에서 트래픽 부하 변화에 따른 각 DBA 방식별 EF 클래스의 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 Limited+SPQ 방식과 Limited+SPQ 1 방식은 최대 할당 대역폭 제한에 따른 원활하지 않은 EF 클래스 대역폭 사용과 불안정한 사이클 시간으로 인하여 높은 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 반면 Class Gated DBA 알고리즘의 경우 가장 높은 우선순위를 가짐과 동시에 고정된 사이클 시간 동안 가장 먼저 대역폭을 사용하기 때문에 매우 낮은 지연 및 지터를 나타낸다. 즉, CBR 형태의 트래픽에 대해서 Class Gated DBA 알고리즘을 사용하였을 경우 최상의 QoS 지원이 가능하다는 것을 증명한다. 또한 EF 클래스의 QoS 안정성 및 다른 클래스들의 QoS 지원을 위해 EF 클래스에 대한 요청 대역폭

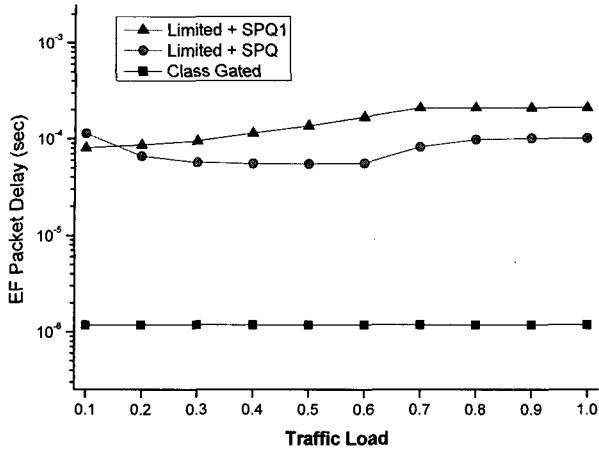


그림 6. 균형적인 트래픽 환경에서 EF 클래스의 평균 패킷 전송 지연
 Fig. 6. Average packet transmission delay of EF class in balanced traffic.

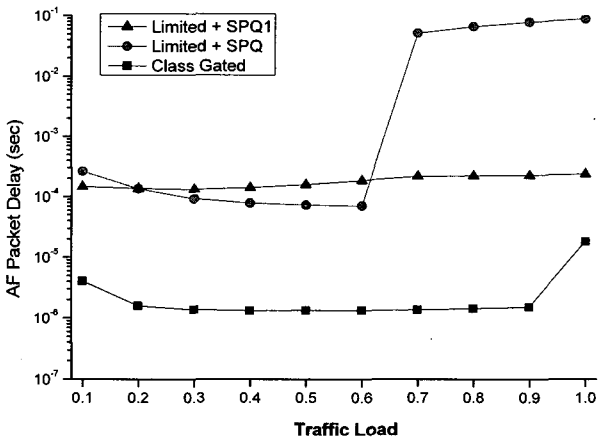


그림 7. 균형적인 트래픽 환경에서 AF 클래스의 평균 패킷 전송 지연
 Fig. 7. Average packet transmission delay of AF class in balanced traffic.

이 30% 이상일 경우 Call Admission 기능과 Call Blocking 기능을 사용하여 AF 클래스나 BE 클래스에게 할당된 대역폭을 사용할 수 없도록 사전에 방지한다.

그림 7은 균형적인 트래픽 환경에서 트래픽 부하 변화에 따른 각 DBA 별 AF 클래스의 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다.

Limited+SPQ1 방식의 경우 AF 클래스가 요청하는 대역폭을 한꺼번에 계산하여 분배하기 때문에, 요구한 대역폭을 충분히 할당할 수 있어 패킷 지연이 급격히 증가하지 않고 일정한 값을 유지 하지만 전체적으로 높은 평균 패킷 지연 값을 가지고 있다. Limited+SPQ 방식의 경우 최대 할당 대역폭의 설정으로 인해 트래픽 부하가 높아지면 패킷 지연이 급격하게 증가한다. 반면,

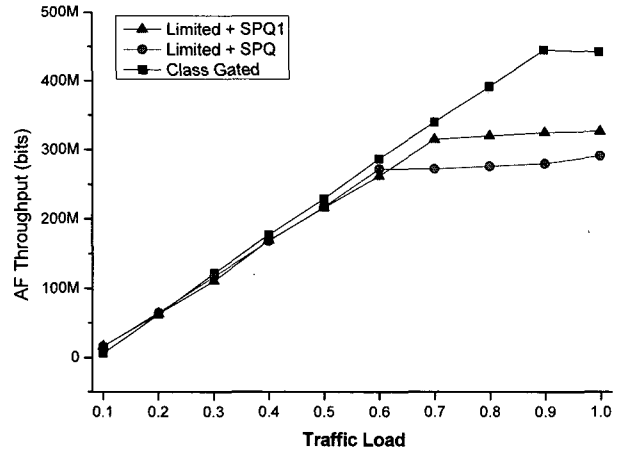


그림 8. 균형적인 트래픽 환경에서 AF 클래스 수율
 Fig. 8. AF class throughput in balanced traffic.

Class Gated DBA 알고리즘의 경우 전체적인 패킷 지연은 고정 사이클 시간으로 인해 트래픽 부하가 높을 경우 약간 증가하는 형태를 보이지만, 전체적인 트래픽 부하 변화에도 일정한 평균 패킷 지연을 보이고 있으며, 두 방식에 비해 매우 낮은 평균 패킷 지연을 값을 보이고 있다. 따라서 지연에 매우 민감한 VoD 서비스나 실시간 멀티미디어 서비스를 지원하는 AF 클래스의 QoS 제공이 매우 원활하게 이루어질 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 트래픽 부하 변화에 따른 각 방식별 AF 클래스 수율을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 Limited+SPQ1 방식과 Limited+SPQ 방식은 트래픽 부하가 0.6 이하일 경우 원활한 AF 클래스 전송 수율을 보이고 있지만, 트래픽 부하 0.7 이상으로 증가할 경우 AF 클래스 전송의 문제점을 보인다. 따라서 트래픽 발생이 급격하게 증가할 경우 트래픽 변화 상황에 적절하게 대처하지 못함을 알 수 있다. 반면, Class Gated DBA 알고리즘의 경우 AF 클래스가 요청한 대역폭에 대해 요구 기반의 대역폭 할당 능력의 우수성으로 인해 대부분의 요청 대역폭을 수용하는 것을 볼 수 있다. 따라서 Class Gated DBA 알고리즘에서는 AF 클래스의 특성을 최대한 고려하여 대역폭 할당이 가능하다.

그림 9는 균형적인 트래픽 환경에서 AF 클래스의 패킷 지연에 따른 공정성 유지 능력을 나타내고 있다. EPON 시스템은 다수의 사용자가 하나의 상향 링크를 공유하기 때문에 하나의 링크에 연결된 다수의 사용자 간 공정성 유지 능력이 절실히 요구된다. 즉, 트래픽 발생이 급격하게 변화 하더라도 AF 클래스에 지원에 대한 일정한 지연 성능을 보장해야한다. 그림 9에서 볼

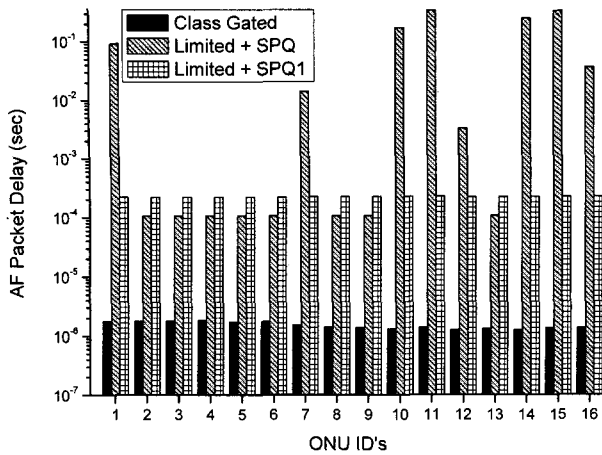


그림 9. 균형적인 트래픽 환경에서 AF 클래스의 패킷 지연 공평성

Fig. 9. Fairness on packet delay of AF class in balanced traffic.

수 있듯이 Limited+SPQ 방식에서는 각 ONU내의 AF 클래스들에 대한 패킷 지연의 공평성이 전혀 유지 되지 않음을 알 수 있다. 하지만 Limited+SPQ1 방식이나 Class Gated DBA 알고리즘의 경우 모든 ONU내의 AF 클래스들에게 매우 균일한 패킷 지연을 제공하고 있다. 따라서 ONU에 연결되어 있는 다수의 사용자들이 해당 ONU가 할당 받은 대역폭을 동일한 비율로 나누어 가질 때, 사용자간 공평성 유지 능력을 통해 AF 클래스를 사용하는 모든 사용자가 동일한 QoS 성능을 제공 받을 수 있게 된다.

한편, Class Gated DBA 알고리즘과 Limited+SPQ1 방식을 자세히 비교하였을 경우, Limited+SPQ1 방식은 공평성 능력은 Class Gated DBA 알고리즘과 마찬가지로 매우 우수한 특징을 보이지만 평균적으로 높은 패킷 지연 값을 나타내고 있다. 반면, Class Gated 방식은 비슷한 공평성 유지 능력을 가짐과 동시에 전체적인 평균 패킷 전송 지연 값도 낮게 분포되어 있어, 기존의 대역 할당 방식들 보다 우수한 AF 클래스 QoS 지원 및 사용자에게 패킷 지연 기반의 공평성을 제공할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 균형적인 트래픽 환경에서 BE 클래스의 큐 길이를 기반으로 한 대역폭 할당의 공평성 유지 능력을 나타내고 있다. 먼저 Limited+SPQ 방식의 경우 대역 할당 방식의 특성상 BE 클래스에 대한 원활한 대역폭 보장이 이루어지지 않아 동일한 트래픽 부하를 가진 ONU의 BE 클래스들임에서 불구하고 대역폭 할당을 통한 전송 수율의 공평성이 유지되지 않는다. 반면 Limited+SPQ1 방식과 Class Gated DBA 알고리즘에서

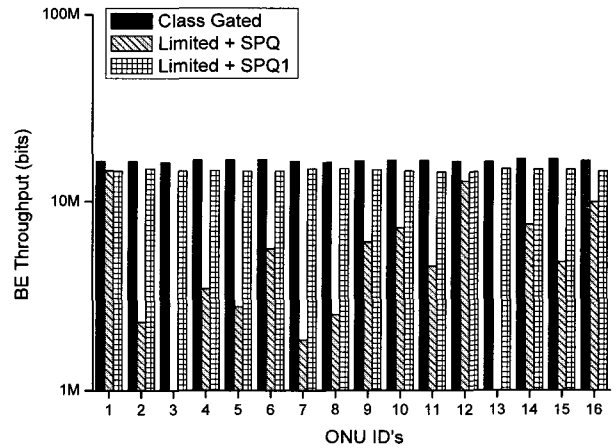


그림 10. 균형적인 트래픽 환경에서 BE 클래스의 전송 수율 공평성

Fig. 10. Fairness on throughput of BE class in balanced traffic.

는 전송 수율에 대한 공평성 유지가 매우 우수함을 볼 수 있다. 이는 Limited+SPQ1 방식이 대역폭 할당을 한꺼번에 실시하기 때문에 전반적인 대역폭 할당의 공평성 유지 가능하고, Class Gated 방식의 경우 BE 클래스를 위한 큐 길이에 따른 공평성 제공 알고리즘을 수행하여 대역폭을 할당하기 때문에 우수한 전송 수율의 공평성 유지 능력을 가질 수 있는 것이다. 즉, ONU에 연결된 다수의 사용자들이 해당 ONU가 할당 받은 대역폭을 동일한 비율로 나누어 가질 때, 사용자간 전송 수율 공평성 유지 능력을 통해 BE 클래스를 사용하는 모든 사용자가 동일한 QoS를 보장 받을 수 있게 된다.

한편, 전체적인 BE 클래스 전송 수율에 있어서 Class Gated DBA 알고리즘을 사용하였을 경우 기존의 대역 할당 방식들 보다 더 우수한 전송 수율을 보였다. 따라서 높은 전송 수율과 우수한 사용자간 공평성을 제공하는 Class Gated 방식이 BE 클래스에 대한 QoS 지원 측면에서도 매우 안정적이라는 것을 알 수 있다.

그림 11은 불균형적인 트래픽 환경에서 AF 클래스의 평균 패킷 전송 지연 기반의 공평성 유지 능력을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 Limited+SPQ 방식은 불균형적인 트래픽 환경에 대한 탄력적인 대역 할당 능력이 현저히 떨어지기 때문에 트래픽 환경에 적응하지 못하고 트래픽 발생량에 비례하여 높은 패킷 전송 지연 값을 보이고 있다. 또한 Limited+SPQ1 방식은 트래픽 상황에 적응하는 모습을 보이고 있지만 완벽하게 문제점을 해결하지 못하고 불균형적인 트래픽 상황에 Limited+SPQ 방식과 마찬가지로 트래픽이 과다하게 발생되는 ONU들에 대하여 높은 지연 값을 나타내고 있

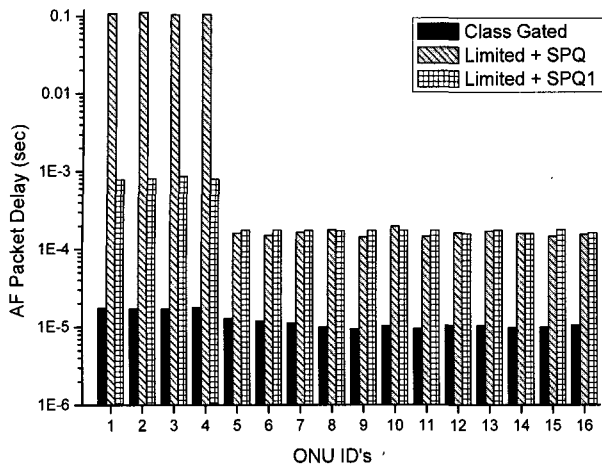


그림 11. 불균형한 트래픽 환경에서의 AF 클래스 공평성 유지 능력

Fig. 11. Fairness between AF class in unbalanced traffic.

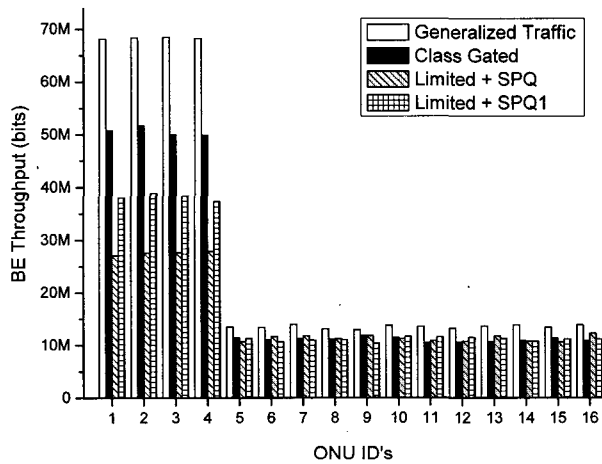


그림 12. 불균형한 트래픽 환경에서의 BE 클래스 공평성 유지 능력

Fig. 12. Fairness between BE class in unbalanced traffic.

다. 하지만 Class Gated DBA 알고리즘의 경우 트래픽이 많이 발생하는 ONU들은 알고리즘에 따라 적절한 대역폭을 할당 받아 사용하므로 낮은 지연 및 우수한 사용자간 공평성 유지 능력을 나타내고 있다. 즉, Class Gated DBA 알고리즘은 그림에서와 같이 불균형적인 트래픽 환경에서도 ONU 간 동일한 패킷 전송 지연을 유지함으로써 ONU에게 연결되어 있는 모든 사용자에게 동일한 패킷 전송 지연 및 QoS를 제공할 수 있다.

그림 12는 불균형적인 트래픽 환경에서 BE 클래스의 전송 수율에 대한 공평성 유지 능력을 나타내고 있다.

그림에서와 같이 Limited+SPQ 방식은 고정적인 최대 할당 대역폭에 따라 그 전송량이 제한되므로 트래픽이 많이 발생하는 ONU 1 ~ ONU 4의 전송 수율이 제한되고 있다. 또한 Limited+SPQ1 방식의 경우에도 상황

에 따른 적절한 대역폭을 할당 받지만 클래스별로 구분되지 않은 ONU의 대역폭 요청으로 인해 많은 성능 개선점은 보이지 않는다. 하지만 Class Gated DBA 알고리즘의 경우 BE 클래스에 대해 전송 큐 길이를 반영하여 할당 대역폭을 결정한다. 따라서 ONU에게 할당된 대역폭을 해당 ONU에 연결되어 있는 사용자가 동일한 비율로 나누어 가질 경우, 사용자의 수가 많아 트래픽 발생량이 높은 ONU 1 ~ ONU 4에게 좀 더 많은 대역폭을 할당함으로써 불균형적인 트래픽 환경에서도 BE 클래스를 사용하는 모든 사용자에게 동일한 대역폭 및 QoS를 제공할 수 있게 된다.

V. 결 론

고품질의 멀티미디어 서비스가 등장함에 따라 보다 높은 대역폭이 요구되고, 이를 위해 광 가입자망에 관심이 증대하고 있다. 현재 EPON은 ONU와 OLT가 모두 관련 장비로 구성을 완료한 상황이고, 일부에선 EPON 시스템의 상용화를 위해 테스트 단계 이기도하다. 이러한 상황에서 보다 안정적인 서비스 제공 방안과 EPON 시스템의 성능 향상을 위한 동적 대역 할당 방식에 대한 연구의 중요성이 증가하고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 기존 동적 대역 할당 방식의 문제점을 개선하고, 보다 안정적이며 효율적으로 QoS 제공을 하기 위한 동적 대역 할당 방식인 Class Gated DBA 알고리즘을 제안하였고, 그에 따른 성능 분석을 완료하였다. 모의실험을 통해 Class Gated DBA 알고리즘은 기존 Limited+SPQ 및 Limited+SPQ1 방식보다 EF, AF 클래스에서 더 낮은 지연을 보였으며, AF 전송량에서도 우수한 성능을 볼 수 있었다. 또한 균형적인 트래픽 환경뿐 아니라 불균형적인 트래픽 환경에서도 각 ONU의 AF 클래스에 대한 지연 기반의 사용자간 공평성 유지 능력 향상 그리고 BE 클래스에 대한 큐 길이를 반영한 사용자간 대역 할당 공평성 유지 능력 강화 등을 확인할 수 있었다. 모의실험 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 Class Gated DBA 방식은 사용자가 요구하는 서비스 클래스 특성을 최대한 고려하여 이에 따른 대역 할당 및 공평성을 제공함으로써 사용자의 SLA (Service Level Agreement)를 보장할 수 있으며, 망 사업자 측면에서도 향후 제공될 고품질의 멀티미디어 서비스에 적합한 QoS 지원이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local Loop," *Lightwave*, Vol.16, No.10, 68-74, Sept. 1999.

[2] K. Richards, "Is Ethernet the ticket for trial and wait PON customers?," *Lightwave*, April, 2002, <http://www.pennnet.com>

[3] G. Kramer, G. Peasavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Buliding a Next-Generation Optical Access Network," *IEEE communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, pp. 66-73, Feb. 2002.

[4] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A dynamic protocol for an ethernet PON (EPON)," *IEEE communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, pp. 74-80, Feb. 2002.

[5] G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye, and R. Hirth, "Supporting differentiated classes of service in EPON-based access network," *Journal of Optical Networks*, Vol. 1, No. 8/9, pp. 280-298, 2002.

[6] C. Assi, Y. Ye, S. Dixit, M. Ali., "Dynamic bandwidth allocation for quality of service over ethernet PON," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 21, No. 9, pp. 1452- 1466, Nov. 2003.

[7] Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for Subscriber Access Networks, IEEE Draft P802.3ah/D1.0TM, Aug. 2002.

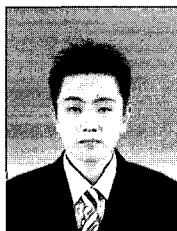
[8] 김동일, 김창호, "Ethernet 트래픽의 장기간 의존성 및 Self-similar 트래픽소스 모델링에 관한 연구" *Telecommunications Review*, Vol. 11, No.6, pp. 868-886, 2001. 11-12월

저 자 소 개



황 준 호(학생회원)
 2004년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
 2006년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학석사)
 2006년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정

<주관심분야 : Optical Access Network, OBS, Network QoS>



김 효 원(학생회원)
 2006년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

<주관심분야 : Optical Access Network>



유 명 식(평생회원)
 1989년 고려대학교 전자전산공학과 (공학사)
 1991년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 SUNY at Buffalo Dept. of EE (공학박사)

2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수

<주관심분야 : Optical Network, Optical Access Network, OBS, Wireless MAC protocol, Ad-hoc routing protocol>