

EPON의 DBA방안에서 지연 우선순위를 갖는 트래픽의 패킷 손실률과 지연 성능 분석

정희원 박철근*, 심세용**, 학생회원 정호석*

Packet Delay and Loss Analysis of Traffic with Delay Priority in a DBA Scheme of an EPON

Chul-Geun Park**, Se-Yong Shim* *Reguler Member*, Ho-Seok Jung* *Student Member*

요약

인터넷 사용자의 급속한 증가와 더불어 다양한 멀티미디어 서비스가 출현함에 따라 다중서비스를 지원하는 EPON에서 서비스 품질을 지원하기 위해 트래픽은 우선순위에 따라 분류될 수 있다. EPON망에서의 멀티미디어 응용 서비스는 VoIP(Voice over Internet Protocol)등과 같은 음성 데이터 및 실시간 오디오·비디오 등과 같이 지연에 민감한 트래픽을 제공하는 서비스와 BE(Best Effort)와 같은 비실시간 트래픽을 제공하는 서비스로 구분되는데 이러한 서비스들을 적절히 지원하는데 있어서 EPON의 상향 트래픽의 대역 할당 방안을 다룬다. 기존의 제안된 방안을 살펴보고 실시간 트래픽의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 방안을 제시한다. 제시한 방안으로 상향 트래픽의 대역 할당을 지원함으로써 얻을 수 있는 트래픽의 손실률과 지연을 시뮬레이션으로 분석한다.

Key Words : EPON, 동적대역할당, 시뮬레이션, 우선순위버퍼, 지연성능

ABSTRACT

As the rapid increasement of the number of internet users has ocured recently, many multimedia application services have been emerging. To improve quality of service, traffic can be suggested to be classified with priority in EPON(Ethernet Passive Optical Network), which is supporting the multimedia application services. In this paper, multimedia application services treat bandwidth classifying device in serving both delay sensitive traffic for real-time audio, video and voice data such as VoIP(Voice over Internet Protocol), and nonreal-time traffic such as BE(Best Effort). With looking through existing mechanisms, new mechanism to improve the quality will be suggested. The delay performances and packet losses of traffic achieved by supporting bandwidth allocation of upstream traffic in suggested mechanism will be analyzed with simulations.

I. 서론

우리나라의 초고속 정보통신망은 서비스 업체와 소비자의 요구에 의하여 비약적으로 발전을 하고 있다. 더욱이 국가에서는 정책적으로 정보통신망의

고도화 산업을 추진함으로 인하여 더욱 힘을 얻고 있는 상황이다. 그러한 결과로 기간망의 전송량은 테라급으로 증가되어 MAN, WAN으로 확충되고 있다. 여러 통신 사업자들은 이러한 환경을 바탕으로 케이블망, xDSL, 광망 등 다양한 방식으로 가입

* 선문대학교 정보통신공학부 (cgpark@sumoon.ac.kr), ** (주) 탑엔지니어링
논문번호 : KICS2005-06-233, 접수일자 : 2005년 6월 7일

※ This work was supported by grant NO. R05-2003-000-10570-0(2004) from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation.

자 망의 고도화를 추진하고 있다. 하지만 현재 가입자 망의 기술은 점대 점 방식으로 되어있어서 설치의 어려움이나 비용의 부담이 많다. 이러한 단점들을 극복하기 위해 나온 여러 가지 방식들 중에서 FTTx(Fiber to the any)를 만족하고 기존의 기술에 추가적인 비용이 비교적 저렴한 광통신 가입자망 기술인 점대 다중점 방식의 PON(Passive Optical Network)을 선택할 수 있다^{1, 2}. 여기서 ‘수동(Passive)’이란 말은 신호가 망에 나가게 되면 광 전송을 위하여 더 이상의 전력에너지 요구 또는 능동형 장비가 필요 없다는 의미로 쓰인다.

현재 대부분의 망은 이더넷으로 되어 있는데 이것을 이용하여 PON을 구성할 수 있다. 이러한 기술을 이용한 망을 EPON(Ethernet PON)이라 한다. EPON은 국사(CO:Central Office)내에 위치한 OLT(Optical Line Terminal)와 인터넷 종단에 연결되어 로컬 교환기에 위치하고 있는 ONU(Optical Network Unit)사이에서 프레임 변환하지 않고 전송할 수 있어 효율성을 더욱 증가시킬 수 있다. 또한, 기존 망 장비들을 그대로 쓸 수 있는 경제적 장점을 가지고 있다. 그러나 EPON보다 먼저 개발되어 ITU에 채택되어 ITU-T G.983으로 표준화가 이루어지고 있는 APON(ATM PON)은 비디오 전달 능력이 없으며, 불충분한 대역과 비싼 가격으로 시장에서 사장되고 있다³.

EPON은 OLT에 ONU들이 광소자만을 이용하여 연결되어 있고 데이터 전송은 IEEE 802.3 프로토콜에 따라 가변길이 패킷으로 목적지 고유의 헤더를 가지고 방송된다. 또한, OLT에서 ONU 방향으로 하향으로서 점 대 다중점이고 반대로 ONU에서 OLT는 상향으로 다중점 대 점 망이다. 여기서 OLT는 ONU들에게 이더넷 패킷 데이터들을 전송하기 위하여 폴링(polling) 방식으로 대역을 할당하고 ONU는 각각의 비디오나 음성 등과 같은 데이터들을 OLT에게 보내게 된다⁴. 상향 트래픽에서 모든 ONU들은 채널용량과 자원을 공유해야 한다.

시분할 다중접속(TDMA)방식은 단일 상향 파장을 사용하고 비용면에서 효율적이므로 액세스 망에서 선호되는 채널공유 방식이다. 그러나 이 방식은 통계적 다중화 이득을 무시하므로 효율적인 대역 활용에 한계가 있다. TDMA를 사용할 경우 트래픽 버스트 성질로 인하여 타임 슬롯은 오버플로우를 초래하여 패킷의 심각한 전송지연을 가져올 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 전송할 데이터가 없을 때 타임 슬롯의 크기를 줄일 수 있는 동적 대역 할

당(DBA:Dynamic Bandwidth Allocation)방안은 슬롯의 여분 대역을 다른 ONU들이 사용할 수 있게 하는 것이다. 하지만 이 방법의 문제는 OLT가 각 ONU들이 얼마만큼의 전송할 데이터를 갖고 있는지를 모른다는 것이다.

이미 알려져 있는 OLT기반에서의 폴링 방안에는 인터리브(interleave)폴링 방안이 있다⁵. 이 방안은 ONU들에 대한 통계적 다중화를 제공하여 상향 채널의 이용 효율을 높인다. 하나의 ONU가 정해진 폴링 사이클 시간의 대부분을 차지하여 발생하는 불공평한 전송서비스의 단점을 보완하기 위해 G. Kramer 등은 최대 전송 윈도우 크기를 제한하는 동적 대역 할당 방안을 연구하였다⁶. 이들은 다중응용 환경에서 EPON의 전송 메커니즘인 다중점 제어 프로토콜(MPCP: Multi Point Control Protocol)이 IEEE 802.1D 표준에 규정된 우선순위 스케줄링과 어떻게 관련되어 있는지를 조사했다. 특히 서로 다른 트래픽 클래스들에 대한 패킷 지연들을 분석했다. 한편 본 논문에서 다루는 우선순위가 있는 폴링 모델은 수리적 분석의 한계가 있으므로 좀더 원활한 분석을 위해 우선순위를 갖지 않는 시스템에 대하여 Park 등은 EPON의 DBA 알고리즘을 gated polling 모델^{7, 10}과 휴가기간을 갖는 모델¹¹로 근사하여 큐잉이론을 이용해 수리적으로 해석했다.

본 논문에서는 시물레이션에 의해 2단계 큐 구조를 갖는 인터리브(interleaved) 폴링 알고리즘의 동적 대역 할당 방안에 대한 패킷 지연과 손실률을 분석하고 버퍼의 크기에 따른 패킷 손실률의 변화에 초점을 맞추었다. 제 II절 시스템 모델에서는 여기서 제안할 2단계 버퍼 구조를 갖는 인터리브 방안에 대해서 논할 것이고 제 III절에서는 시물레이션의 결과 및 고찰을 보고 마지막으로 제 IV절에서는 결론을 이끌어 낼 것이다.

II. 시스템 모델

N개의 ONU들이 하나의 OLT에 연결되어 있는 모델을 기본으로 고찰한다. 입력 트래픽은 LAN이나 수많은 독립된 사용자들로부터 ONU에 도착한다. 입력 트래픽은 지연에 민감한 정도에 따라 크게 A종과 B종으로 분류할 수 있다. 다시 A종은 표 1과 같이 더 세부적으로 나누어 질 수 있다. A종 서비스들의 트래픽은 VoIP 및 화상회의와 같은 지연에 민감한 실시간 서비스들로 구성되어 있고 B종은 비디오 스트리밍 서비스 등을 포함하여 전자우편과

표 1. 입력트래픽 분류와 우선순위

종류	클래스	트래픽 유형	서비스 종류	우선 순위
A	A1	실시간 트래픽	VoIP, 화상회의, 전자상거래	P0
	A2	VBR	비디오/오디오 스트리밍 서비스, 주문형 서비스	P1
	A3	QoS가 보장된 BE	인터넷(WWW), 멀티미디어 메일	P2
B	B	BE (Best-Effort)	전자우편, 예약된 파일 다운로드	BE

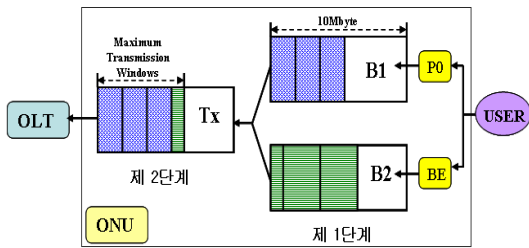


그림 1. 2개의 우선순위를 갖는 2단계 버퍼 구조

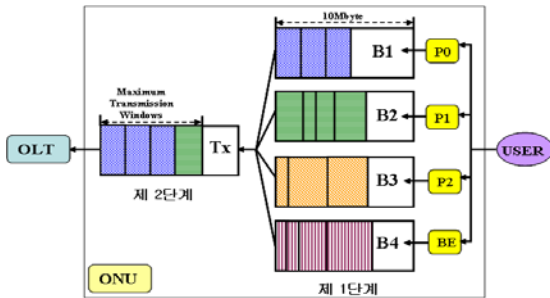


그림 2. 4개의 우선순위를 갖는 2단계 버퍼구조

같은 비실시간 서비스가 속하게 된다.

이 논문에서는 2단계 버퍼구조를 갖는 동적 대역 할당방안을 고려하며 시스템은 처음 패킷이 입력되는 제 1단계 대기버퍼와 전송을 위해 잠시 머무르는 제2단계 전송버퍼로 구성된다. 한편, [그림 1]은 2개의 제 1단계버퍼를 갖는 시스템 구조로 입력 트래픽을 단순히 A종과 B종 2가지로 구분하여 분석하는 ‘시물레이션 A’ 모델이고^[12], [그림 2]는 입력 트래픽을 좀 더 자세하게 우선권을 나눠 A종을 A1, A2, A3와 B종 4가지로 구분하여 분석하는 ‘시물레이션 B’ 모델에 대한 것이다^[13]. 이렇게 두 가지로 나누는 이유는 우선순위의 클래스의 수가 실시간 트래픽(P0)에 미치는 영향을 보이기 위함이다. 한편 3개의 제 1단계 버퍼를 갖고 3종류의 입력트래픽 클

래스를 갖는 시물레이션 분석에 대한 결과는 참고 문헌 [14]에 나타나 있으며 여기서 2단계 버퍼구조를 갖는 DBA 시스템의 특징을 여러 결과를 통해 잘보여준다.

입력트래픽 모델을 보면 실시간 트래픽(A1)은 포이송(Poisson)과정을 따르고 비실시간 트래픽(A2, A3, A4, B)은 IP 트래픽의 고유한 특성인 버스트(burst)하며 자기유사 성질(self-similarity) 을 갖기 때문에 파레토(Pareto) 입력과정을 갖는 것으로 가정한다^[4].

기존의 2단계 버퍼구조를 갖는 동적 대역할당 방안^[15]에서 각 ONU는 OLT로 제 2단계 전송 버퍼를 거쳐 버퍼내의 전체 트래픽을 보내게 되는데, 특정 ONU가 전체 전송 대역을 독점할 수 있는 상황을 피하기 위하여 OLT는 최대 전송 윈도우 크기 (W_{MAX})를 제한한다^[6]. 각 ONU들은 OLT에 전송 승인(Grant)을 받고 자신이 요구한 크기만큼 전송할 수 있으나 최대 전송 윈도우 크기를 넘을 수 없다. 기존의 2단계 버퍼 구조에서 입력트래픽은 우선순위에 따라 먼저 제 1단계 해당 버퍼에 저장된다. 이들은 OLT로부터 전송승인 메시지가 ONU에 도착하여 제 2단계 버퍼의 패킷들이 전송될 때까지 제 1단계 버퍼에서 기다렸다가 제 2단계 버퍼의 패킷들의 전송이 끝난 직후에 다음 폴링 사이클의 전송을 위해 제 2단계 버퍼로 나아간다. 이와 같은 기존의 2단계 버퍼 구조는 주어진 타임 슬롯에서 최고의 이용률을 보장한다. 한편 실시간 트래픽이 비실시간 트래픽보다 상대적으로 지연을 덜 겪지만 제 1단계의 B1버퍼에 수용되는 실시간 트래픽은 도착 후 최대한으로 다음 폴링 사이클까지 전송승인 메시지를 기다려야 하는 경우가 발생한다. 즉, 실시간 트래픽(A1)의 지연을 증가시키는 단점이 있다^[15].

본 논문에서 제안하는 2단계 버퍼 방안에서는 기존의 2단계 버퍼 구조의 단점인 실시간 트래픽(A1)의 제 1단계 버퍼에서의 지연을 줄인다. 제 1단계 버퍼는 지연 우선순위 버퍼이고 제 2단계 전송버퍼는 선입선출(FCFS)의 서비스 정책을 갖고 있는 전송 버퍼이다.

먼저 많은 사용자들로부터 입력된 트래픽 중 B1 버퍼의 실시간 트래픽은 제 2단계 전송버퍼의 W_{MAX} 범위 내에서 빈공간이 있는 한 B1버퍼를 지나자마자 제 2단계 전송 버퍼로 바로 입력되고 제 2단계 버퍼가 W_{MAX} 까지 찼을 때 그 이후에 입력되는 실시간 트래픽은 B1버퍼에 머무르게 된다. 이때, B1 버퍼의 크기를 초과해서 입력되는 실시간 트래픽

패킷들은 손실된다. 한편, OLT로부터 전송승인 메시지가 ONU에 도착하면 제 2단계 전송 버퍼에서 패킷이 OLT로 전송되고 전송버퍼가 비워진다. 제 1단계 버퍼에 입력되는 트래픽은 OLT로부터 전송승인 메시지가 도착할 때까지 머물러 있다가 제 2단계 전송 버퍼가 전송을 끝낸 후 남아있는 패킷의 양이 최대 전송 윈도우(W_{MAX}) 양보다 적을 때까지 우선순위에 따라 차례로 제 2단계 버퍼로 다음 사이클의 전송을 위해 나아간다. 이때 비실시간 트래픽은 제 2단계 버퍼에서 OLT로의 전송을 대기하는 동안 입력되는 패킷의 양이 최대 전송 윈도우(W_{MAX})의 크기만큼 찰 때까지 제 2단계 버퍼로 들어오고 최대 전송 윈도우 크기를 초과해서는 제 1단계 버퍼인 B2, B3, B4 버퍼에서 대기하게 된다. 제 1단계 버퍼 용량을 초과한 이후의 입력 패킷들은 실시간 트래픽과 같이 손실된다.

ONU는 OLT의 전송승인 메시지에 의해 제 2단계 버퍼의 패킷들을 전송하기 시작하는데, 승인한 윈도우 크기만큼의 전송이 끝나면 ONU는 제 2단계 버퍼에 남아있는 W_{MAX} 한도 내의 용량 정보를 포함하는 요청(Request) 메시지를 생성한다. ONU가 보내게 되는 이 요청 메시지는 OLT에게 그것의 전송 윈도우 크기를 알려 주는 역할을 한다. OLT가 허가받은 ONU들이 얼마만큼의 바이트를 보냈는지 알고 있다는 것은 ONU가 보낸 데이터의 마지막 비트가 도착하는 시점을 알고 있다는 것이다. 다음 ONU_{i+1} 에 대한 RTT(Round Trip Time)를 알고 있는 OLT는 ONU_{i+1} 에게 보낼 승인 메시지를 스케줄링 한다. ONU_{i+1} 로부터의 첫번째 비트는 ONU_i 로 부터의 마지막 비트를 전송한 후에 RTT의 끊임없는 변화에 대한 보호를 제공하며 ONU들의 메시지 처리시간을 조절하는 약간의 보호시간(guard interval)과 함께 도착한다. 승인 메시지는 승인된 윈도우의 크기들과 응답 RTT를 고려하여 스케줄링 된다.

III. 시뮬레이션

이 절에서는 제안된 동적 대역 할당 방안의 성능을 시뮬레이션으로 결과를 보인다. 시뮬레이션에서 EPON은 16개의 ONU들과 1개의 OLT로 구성된 접속 망으로 간주하고 각 ONU와 OLT 사이의 거리는 20Km로 가정하여 광신호의 거리에 비례한 전파지연은 약 $100\mu s$ 로 갖게 하였다. 제 1단계 우선순위 버퍼와 제 2단계 전송버퍼의 크기를 10Mbyte

로 하였다. ONU들간의 RTT 변화에 대한 보호간격은 $3\mu s$ 로 설정하였고, ONU에서 OLT로의 상향 속도는 1Gbps의 가정하였다. 여기에 사용된 트래픽의 패킷은 64바이트에서 1518바이트의 크기로 일양(uniform) 분포를 갖는 것으로 가정하였다.

시뮬레이션 A에서는 QoS를 보장해야 하는 실시간 트래픽(A1)은 P0의 최우선순위를 주고 트래픽의 부하를 4.48 Mbps로 고정하였다. 비실시간트래픽 클래스 B에는 BE로 하위 우선순위를 주었다.

시뮬레이션 B에서는 실시간 트래픽 A1은 P0 최우선순위를 주고 QoS가 보장된 A2, A3 트래픽 클래스는 P1, P2 우선순위를 주었고, QoS가 보장되지 않는 트래픽 클래스 B중에는 BE로 우선순위를 최하위로 하였다.

3.1 시뮬레이션 A

여기서는 [표 1]에서 두개의 트래픽 클래스 A1과 B를 입력으로 하며, 이에 따라 두개의 제 1단계 대기 버퍼를 갖는 [그림 1]의 시스템 모델에 대한 시뮬레이션 결과를 다룬다.

그림 3은 실시간 트래픽 A1(우선순위 P0)은 포아송 입력과정으로 하였고 비실시간 트래픽 B(우선순위 BE)는 도착 시간 간격이 파레토 분포를 갖는 입력 과정으로 하였다. 시뮬레이션은 ONU의 상향링크 트래픽 부하가 0.05에서부터 0.95에 이르기까지에 대한 각 클래스 트래픽의 평균 지연에 관해 나타내고 있다. 두 트래픽 클래스는 상향링크 평균지연 시간이 서서히 증가하기 시작했다. 특별히 트래픽 부하가 많아진다고 해서 평균지연이 갑자기 증가하지 않았다. 실시간 트래픽 P0의 제일 높은 지연 시간은 비실시간 트래픽 BE의 트래픽 부하가 작을 때의 최소 지연 시간보다 작게 나타났다.

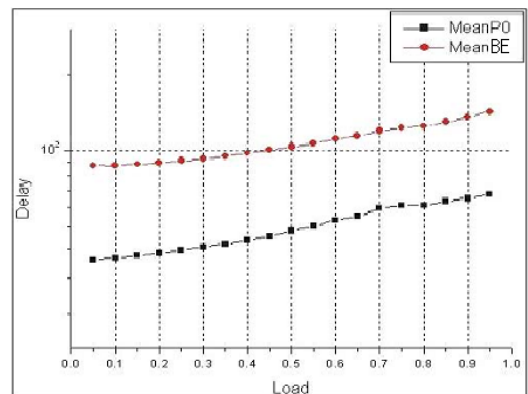


그림 3. 트래픽 부하와 평균 지연

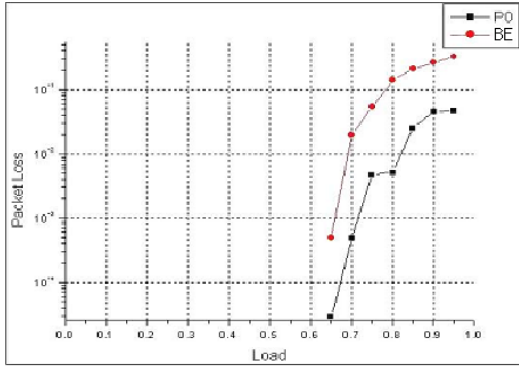


그림 4. 트래픽 부하와 패킷 손실률

그림 4는 상향 링크에 대한 버퍼에서의 패킷 손실률을 구한 것이다. 트래픽 부하가 0.65를 기준으로 패킷 손실률이 증가하기 시작하였다. 패킷의 손실은 제 2단계 전송버퍼 뿐만 아니라 제 1단계 우선순위 버퍼에 더 이상의 입력 트래픽을 받아들일 수 없을 만큼 패킷의 입력률이 많아질 때 손실이 발생한다. 우선순위가 높은 P0는 BE 트래픽에 비해서 손실률이 적게 나오는 것을 알 수 있다. 부하가 적을 때는 전송 버퍼 및 우선순위 버퍼에서 입력되는 패킷들을 다 수용할 수 있었다는 것을 나타낸다.

3.2 시뮬레이션 B

여기서는 [표 1]에서 네개의 트래픽 클래스 A1, A2, A3와 B를 모두 고려하며, 이와 맞게 네개의 제 1단계 대기 버퍼를 갖는 [그림 2]의 시스템 모델에 대한 시뮬레이션결과를 다룬다.

그림 5의 시뮬레이션 B에서 A중 A1에 해당하는 실시간 트래픽 P0는 포아송 입력과정으로 하였고 P1, P2와 같이 QoS가 보장되는 트래픽들과 QoS가 보장되지 않는 BE 트래픽들은 파레토 분포에 따라

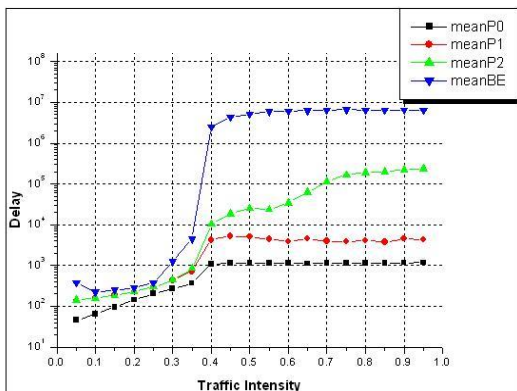


그림 5. 트래픽 부하와 평균 지연

입력되는 것으로 했다. ONU의 상향링크 트래픽 부하가 0.05에서부터 0.95에 이르기까지에 대한 각 클래스 트래픽의 평균 지연에 관해 나타내고 있다.

트래픽 부하가 적을 때는 모든 트래픽이 상향링크의 평균지연 시간이 작게 증가했다. 하지만 부하가 0.3을 기점으로 크게 상승하기 시작하며 우선순위에 따라 P0는 가장 지연이 적게 나왔고 나머지 것들은 우선순위와 똑같이 P1, P2, BE 순서로 지연 시간이 증가하였다.

그림 6은 우선순위가 제일 뒤쳐진 BE의 최대 지연은 QoS가 보장되는 다른 트래픽들보다 훨씬 큰 지연을 보였다. 하지만 QoS가 보장되는 트래픽들 중 P0, P1는 트래픽 부하가 증가되면서 약간의 지연이 증가 되었지만 트래픽 부하가 어느 일정한 수준(0.4)에 머물러서는 더 이상 최대 지연이 증가하지 않았다. 그리고 P2는 그것들에 비해서 최대 지연이 소폭 증가하였다. 결국 최대 지연도 우선권을 부여한 순서대로 지연을 보인 것이다.

그림 7에서는 상향 링크 시 버퍼에서 패킷의 손실률을 구한 것이다. 패킷손실의 발생 원인으로 몇 가지를 생각할 수 있다. 시뮬레이션에서는 10M바이

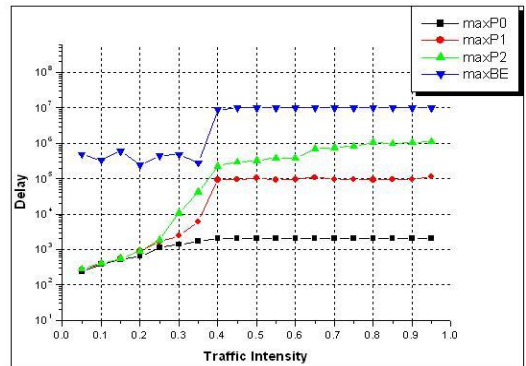


그림 6. 트래픽 부하와 최대 지연

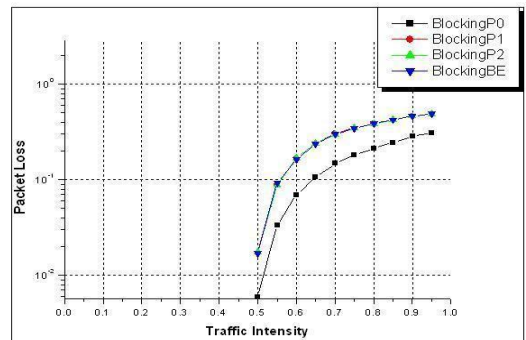


그림 7. 트래픽 부하와 패킷 손실률

트로 가정을 하였기 때문에 버퍼가 다 채워진 후 들어오는 패킷의 손실이 발생할 수 있고 동시에 여러 트래픽이 전송버퍼에 도착하였을 때 우선순위에 따라 우선순위가 낮은 패킷들은 손실이 발생한다. 트래픽 부하가 낮을 때는 패킷의 손실이 거의 일어나지 않았다. 이것은 전송버퍼에서 입력되는 패킷들을 전부 받아들여 전송시킬 수 있었다는 것이다. 하지만 회선 이용률 0.5를 기준으로 패킷 손실이 많이 발생하기 시작하였다. 이때는 전송버퍼에서 모든 트래픽을 받아들일 수 없을 만큼 패킷의 입력률이 많아짐으로 인해서 손실률이 커졌다. 하지만 여기서도 우선순위에 따라 P0는 다른 입력 트래픽들에 비해서 손실률이 적게 나오는 것을 알 수 있다. 이 시뮬레이션은 각 버퍼가 무한 버퍼가 아니기 때문에 P0 트래픽이 부하가 증가함에 따라 약간의 지연의 증가가 있었다. 그림 7에서 비실시간 트래픽 P1, P2, BE들의 패킷 손실은 같은 비율인데 이는 제1단계 버퍼가 충분히 커서 비실시간 트래픽들이 우선순위에 관계없이 랜덤하게 손실되기 때문이며, 이외의 이유에 대해서는 버퍼의 크기를 조절하며 결과를 살펴보아야 한다.

IV. 결론

본 논문은 다양한 멀티미디어 서비스들이 점점 현실화 되어감에 따라서 이를 지원하기 위한 EPON의 서비스의 품질을 더욱 높이기 위해 기존에 제안된 방법들과 다르게 우선순위 트래픽 클래스를 실시간과 비실시간으로 나누고 실시간 트래픽(P0)의 지연증가를 해소한 2단계 버퍼 구조를 제안하였다. 트래픽 클래스의 수를 달리한 두 가지의 시뮬레이션을 통해서 실시간 트래픽(P0)의 지연증가를 해결함으로써 실시간 트래픽의 성능 향상을 보았고 그것을 패킷의 지연과 손실률로 확인 할 수 있었다. 그리고 P0트래픽 외에도 QoS가 보장되어야 하는 P1, P2 트래픽 클래스의 지연성능도 BE 트래픽보다 감소시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Jongwook Jang and E. K. Park, "Dynamic resource allocation for quality of service on a PON with home networks", IEEE Commun. Magazine, Vol. 38, Issue 6, June 2000

[2] H. Frazier and G. Pesavento, "Ethernet Takes on the First Mile", IT Pro, Jul. /Aug. pp. 1-6, 2001

[3] J.D Angelopoulos, I.S. Venieris, and E.N. Protonotarios, "A Transparent MAC Method for Bandwidth Sharing and CDV Control at the ATM Layer of Passive Optical Networks", J. of Lightwave Tech., vol. 14, no. 12, pp. 2625-2635, Dec.1996

[4] Web ProForum Tutorials, "Ethernet Passive Optical Net works", <http://www.iec.org>, The Internatioal Engineering Consortium.

[5] G. Kramer, B. Mukherjee, G. Pesavento, "Inter-leaved Polling with Adaptive Cycle Time: A Dynamic Bandwidth Distribution Scheme in an Optical Access Network", Photonic Net.Comm. Magazine, Vol.3, no.3, July. 2001

[6] G. Kramer, B. Mukherjee and G. Pesavento, "IPACT: a dynamic protocol for an Ethernet PON(EPON)", IEEE Commun. 40(2), pp74-80, 2002

[7] C.G. Park, D.H. Han and Yutae Lee, "Performance analysis of DBA Scheme with Interleaved Polling Algorithm in an Ethernet PON", ISCC'04, pp.792-797, 2004

[8] C. G. Park, D. H. Han, B. Kim, "Queuing Analysis of Gated Polling System for Dynamic Bandwidth Allocation Scheme in an EPON", J. of Applied Mathematics and Computing, Vol. 16, no. 1-2 pp. 469-481, 2004

[9] C. G. Park, D. H. Han, Bara Kim, "Packet Delay Analysis of Dynamic Bandwidth Allocation Scheme in an Ethernet PON", Networking-ICN 2005 (LNCS 3420), pp.161-168, 2005

[10] C. G. Park, D. H. Han, Bara Kim, Y. T. Lee "Waiting Time Analysis of Gated Polling System for Bandwidth Allocation in a Passive Optical Netwrok", J. of Optical Networking, , 2005

[11] C.G. Park, D.H. Han, "Queuing Analysis of Gated-Exhaustive Vacation System for DBA Scheme in an EPON", J. of Applied Mathematics and Computing, Vol. 17, no.

1-2-3 pp547-557, 2005

- [12] C. G. Park, S. Y. Shim, "Packet Delay and Loss Analysis of Real-time Traffic in a DBA Scheme of an EPON", 2004 Conference on Information and Control Systems, pp.86-88, 2004
- [13] C. G. Park, S. Y. Shim, S. Y. Lee, "Packet Delay and Loss Analysis of Traffic with Priority in a DBA Scheme of an EPON", 한국통신학회 추계종합학술대회 논문집, pp.9-12, 2004
- [14] C.G. Park, Yutae Lee, H. Chung, G. I. You and J.A. Kim, "Performance Analysis of a Dynamic Bandwidth Allocation Scheme for Improving the Delay of the Real Time Traffic in an EPON", KICS 논문지, Vol. 28, No. 11B, pp. 1023-1030, 2003
- [15] G. Kramer, B. Mukherjee, G. Pesavento, "Supporting differentiated classes of services in Ethernet passive optical networks", J. of Optical Networking, Vol. 1, no. 8-9, pp. 280-290, 2002

심 세 용 (Se-Yong Shim)

정회원



2003년 2월 신문대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2005년 2월 신문대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2005년 2월~현재 (주)탐엔지니어링 기술연구소(연구원)
 <관심분야> 트래픽공학, 통신망

해석, 수치해석

정 호 석 (Ho-Seok Jung)

학생회원



2004년 2월 신문대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
 2005년 2월~현재 신문대학교대학원전자공학과 재학
 <관심분야> 큐잉이론, 트래픽 제어, 무선인터넷

박 철 근 (Chul-Geun Park)

정회원



1983년 2월 부산대학교 수학과 졸업(이학사)
 1986년 2월 한국과학기술원 응용수학과 졸업(이학석사)
 1995년 8월 한국과학기술원 수학과 졸업(이학박사)
 1986년 4월~1997년 2월 한국

통신 통신망연구소(선임연구원)

1997년 3월~현재 신문대학교 정보통신공학부(부교수)
 <관심분야> 트래픽공학, 통신망해석, 큐잉이론