

EPON의 차등적 서비스 지원을 위한 인터리브 폴링 기반의 MAC 프로토콜

준회원 이 순 화*, 정회원 이 종 호**, 김 장 북***

The MAC Protocol based on Interleave Polling for Differentiated Services on Ethernet PON

Soon-Hwa Lee* Associate Member, Jong-Ho Lee**, Chang-Bock Kim*** Regular Members

요 약

PON(Ethernet Passive Optical Network)은 FTTH(Fiber To The Home)구성에 경제적인 기술로서, 차세대 가입자망 구성중 하나로 활발히 연구되고 있다. EPON은 Ethernet을 기반으로 하고 있기 때문에 QoS(Quality of Service) 지원을 위해서는 가입자에게 동적대역폭할당을 지원하여야 하며, 최근 멀티미디어 응용 서비스와 수요의 증가로 인하여 서비스별로 차등적인 대역폭할당도 만족시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 인터리브 폴링 기반의 MAC 프로토콜 환경에서 차등적 서비스 지원을 위한 새로운 알고리즘을 제안하여 EPON망의 클래스별 패킷 프레임의 지연 특성과 안정성을 분석하여, EPON망의 QoS 성능이 향상되었음을 보인다.

Key Words : Ethernet PON; MAC Protocol; Passive optical network

ABSTRACT

EPON which is the economical technology of FTTH is being actively researched as one of next generation of subscriber configurations. EPON based on Ethernet should provide subscriber with dynamic bandwidth allocation so as to support QoS. Allocation per service in grade should be satisfied resulting from the increment of the latest multimedia application and consumption. In this paper, New Algorithm is proposed to serve differential service on MAC protocol. The delay characteristic of packet and stability are analyzed that is shown the QoS of EPON network.

I. 서 론

지난 10년간에 걸쳐 초고속정보통신망의 실질적인 발전은 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술 등으로 인하여 기간망(Backbone Network)에 집중되었다. 기간망이 변화되고 있는 동안 가입자망(Access network)도 기가비트이더넷기술의 발전으로 기간망과 가입자망 사이의 병목현상을 해결 할 기술적 기반이 마련되었지만 기간망과 가입자망간의 링크는 아직도 수 Mbps급인 동선기반에 머물러 있다[2][3].

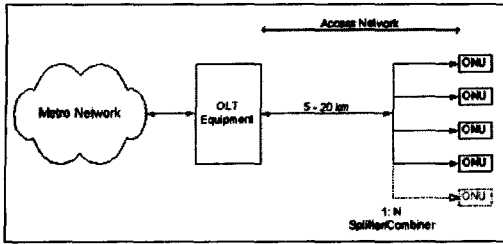
기간망과 가입자망과의 용량적 비대칭 문제의 구조적인 해결책은 결과적으로 가입자 댁내까지 광 링크를 설치하는 FTTH 형태이어야 할 것이다. 최근 가입자망을 광 링크 기반으로 개선하기 위한 많은 노력이 진행되고 있으나 가장 큰 걸림돌은 광 링크의 설치비용이다. 만일 가입자와 기간망 사이에 광 링크를 점대점(Point-to-Point)으로 구성할 경우 비용은 천문학적으로 증가하게 되는 어려움이 있다. 따라서 경제적인 점대 다중점(Point-to-Multipoint) 구조의 PON(Passive Optical Network) 기술이 대두되고 있다.

* 홍익대학교 전자공학과 통신연구실(loveteat@hanmir.com)

** (주)SK이노에이스(jhyoung88@hotmail.com)

*** 홍익대학교 전자공학과 정교수(hoffnung@hongik.ac.kr)

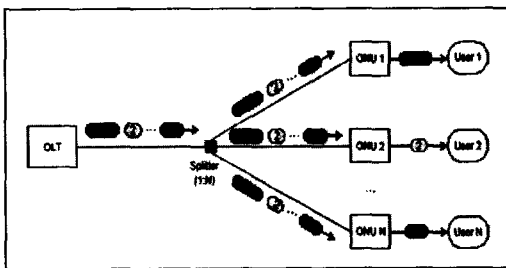
논문번호 : 040018-0115, 접수일자 : 2004년 1월 15일



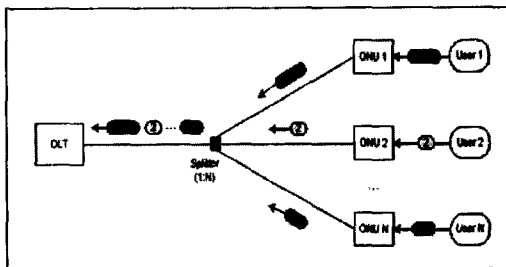
[그림 1] PON 구조

PON(Passive Optical Network)은 ‘passive’ 즉 Sp-litter에 전원을 사용하지 않는다는 뜻이다. 그림 1과 같이 PON 구성은 OLT(Optical Line Terminal), Splitter, ONU(Optical Network Unit)로 이루어지며 Central Office에 하나의 OLT가 설치되고 1:N의 Splitter를 통해 다수의 ONU가 설치 되도록 구성한다. PON 시스템의 전송거리는 최대 20km이다. PON의 대부분의 기능적인 요소는 OLT에 집중시키려 하고 있는데, 이는 ONU의 경제적, 기능적 요소를 감소시켜 전체 시스템의 유지와 설치비용을 감소시키고자 하기 위함이다. PON은 프로토콜 방식에 따라 ATM-PON, E-PON, Super-PON, WDM-PON등으로 나누며, 특히 E-PON은 이더넷 프레임을 그대로 PON망을 통해 전달하여 가입자와 Central Office간의 프로토콜 변환 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.

II. E-PON MAC 프로토콜



[그림 2] E-PON의 하향(down-stream) 전송 구조[5]



[그림 3] E-PON의 상향(up-stream) 전송 구조[5]

기본적으로 E-PON의 데이터 전송속도는 상방향 대칭 1Gbps이다.

그림2,3에서와 같이 하향전송은 브로드캐스팅 방식이나 상향전송은 복수의 ONU가 동시에 OLT로 상향전송을 할 경우 충돌이 발생할 수 있기 때문에 충돌을 막기 위한 MAC 프로토콜인 MPCP(Multi Point Control Protocol)기능이 필요하다.

MPCP기능을 구성하기 위하여 5개의 새로운 MAC Control Frame(MPCPDU)들이 새롭게 정의되었으며 아래 표1과 같다[8].

[표 1] MAC Control sublayer에 정의된 MPCPDU name

MPCPDU name	02	03	04	05	06
MPCPDU name	GRANT	REPORT	REGISTER_REQ	REGISTER	REGISTER_ACK

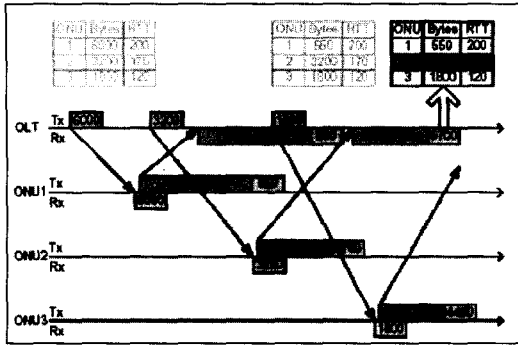
5 개의 MPCPDU 중에 GRANT, REPORT가 가장 많이 사용된다. GRANT는 OLT가 ONU에 사용할 수 있는 상향 전송 시간을 알려준다. 즉 전송 개시 시간과 전송 지속 시간을 전달한다. ONU는 GRANT에 의해 할당된 시간 영역을 통해 데이터를 전송하는 동시에 ONU의 상향데이터 버퍼에 대기하고 있는 데이터의 양을 알려주는 REPORT를 전송한다. OLT는 주기적으로 GRANT를 보냄으로써 ONU가 REPORT할 수 있는 기회를 준다. 그리고, 현재 진행되는 서비스에 큰 영향을 주지 않고 새로운 ONU를 자동 등록하거나, 등록을 폐기하기 위하여 ‘REGISTER_REQ’, ‘REGISTER’, ‘REGISTER_ACK’ 등의 MPCPDU 등이 사용된다[8].

III. MPCP의 동적대역할당(DBA)

EPON은 ONU 마다 특정한 상향 전송 시간 영역을 지정하는 TDMA 방식을 사용한다. 따라서 OLT에서는 ONU의 버퍼크기정보를 바탕으로 각 ONU 대역폭을 할당하게 된다.

가장 간단한 방법은 ONU수만큼 동일하게 대역폭을 할당하는 고정대역할당방식이 있으나, QoS지원의 어려움과 분기수의 제약으로 합리적이지 못하다. EPON 표준화를 연구하고 있는 EFM SG 방향 역시 동적대역폭할당으로 결정한다 있다.

Glen Kramer와 Biswanath Mukherjee는 동적대역폭할당을 위해 적응적 순환시간 구조를 갖는 인터리브 폴링 알고리즘인 IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time)를 제안하였다[1].



[그림 4] IPACT 대역할당 과정[1]

그림4는 IPACT의 대역할당 과정을 나타낸다. 현재 전송권한을 가진 ONU의 전송이 마치기전에 하향전송을 이용하여 다음 ONU로 GRANT 메시지를 보내면 전송권한을 가진 해당 ONU는 REPORT 메시지의 전송을 한 후 자신의 버퍼 정보를 데이터 정보에 함께 담아 OLT로 전송함으로써 동적할당과정을 수행한다.

IPACT는 할당 받은 대역폭에 따라 한 주기의 시간이 가변적이기 때문에 높은 입력부하를 가지게 될 경우, 한 주기의 시간이 증가된다. 따라서 최대로 전송할 수 있는 대역을 제한하며 이를 MTW(Maximum Transmission Window)라고 한다[1][6].

IPACT는 ONU의 버퍼 정보에 따라 대역폭을 차등 제공하지만 멀티미디어 트래픽을 서로 다르게 요구하는 ONU의 QoS보장에는 미흡하다. 따라서 각 ONU의 클래스별 버퍼의 가중치 다르게 두어 상위 클래스의 대역 요구를 만족 시켜 줄 수 있는 능동적인 할당방식이 필요하다.

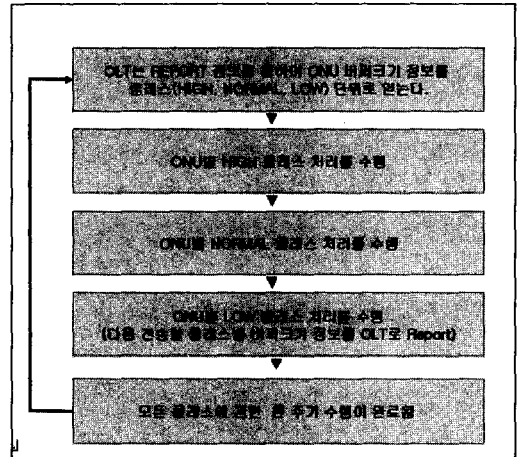
IV. 제안한 DBA 알고리즘

2장 표1의 MPCP 기능 중 REPORT 정보를 통하여 OLT는 ONU의 버퍼 정보를 얻게 된다. QoS 지원을 위해서 제안한 인터리브 폴링 알고리즘에서는 버퍼크기 정보를 클래스별로 세분화 하여 처리한다.

그림5는 제안한 인터리브 폴링 방식의 대역할당 과정을 나타낸 것으로서 기본 개념은 IPACT의 한 주기를 할당된 가중치에 따른 클래스 수에 따라 한 주기내 클래스 처리를 세분화 한다.

제안한 DBA 알고리즘과 IPACT의 QoS 성능평가를 하기위해 클래스의 구분은 ITU-T의 Y.1541 표2에서 권고한바와 같이 패킷지연의 구분에 따라 표4

와 같이 HIGH, NORMAL, LOW 클래스로 정의하였으며, 표3의 어플리케이션의 종류를 고려하여 각 클래스별 트래픽 특성을 각각 HDTV, MPEG2, Best-effort로 정의하였다.



[그림 5] 제안한 인터리브 폴링 대역할당 과정

[표 2] IP QoS 정의와 망 성능 목표치[7]

구분	서비스 품질 등급					
	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
망 성능 오차대역	100ms	400ms	100ms	400ms	1s	미규정
패킷 지연시간	50ms	50ms	미규정	미규정	미규정	미규정
패킷 손실	1·10 ⁻²	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻²	1·10 ⁻²	미규정
패킷 크기			1·10 ⁻⁴			미규정

[표 3] 어플리케이션별 서비스 품질 등급[7]

QoS등급	어플리케이션	서비스패라미터
0	실시간, 지연반응 민감형, 하이 인터랙티브 애플리케이션 (고음질 VoIP, 고음질 비디오 회의등)	차별화 서비스를 위한 분리할 큐, 트래픽 관리
1	실시간, 지연반응 민감형, 인터랙티브 애플리케이션 (VoIP, VTC)	
2	표현적션 데이터, 하이 인터랙티브 애플리케이션 (시그널링등)	분리할 큐, 대기 우선순위
3	표현적션형 데이터, 인터랙티브 애플리케이션	
4	비연속적 애플리케이션 (이동 통신, 원격 데이터, 비디오 스트리밍등)	큰 사이즈의 큐, 대기 우선순위
5	연타넷의 전통적 비보장형 애플리케이션	분리할 큐

[표 4] 본 알고리즘에 적용한 클래스 정의

CLASS	실시간성	비트율	응용수	트래픽특성
HIGH	O	20Mbps	1	HDTV급
NORMAL	O	10Mbps	3	MPEG2급
LOW	X	1Mbps	50	Best-effort

비실시간(TCP)과 실시간(UDP)의 트래픽에 관한 비율은 2002년 Flow 기준으로 약 80:20 비율로 연구 조사되었다[5]. 하지만 2010년 이후 방송망 및 전화망의 융합, 원격진료서비스등, 고대역을 요구하는 실시간 트래픽의 증가 추이를 고려하여 50:50(HIG- H:20%, NORMAL:30%, LOW:50%)으

로 응용수를 결정하였다.

식1에서와 같이 OLT는 각 클래스별 R_i 를 구하여 전체 ONU의 대역할당 테이블을 가진다. R_i 는 ONU 별 대역 요구량을 말하며, $BW_{allocation}$ 은 ONU별 대역할당값이다. 또한 BW_{total} 은 상향채널의 대역용량을 말하며 'n' 은 전송할 데이터가 있는 ONU의 수를 의미한다. 마지막으로 각각의 R_{iH} , R_{iN} , R_{iL} 은 전송할 데이터가 있는 ONU의 HIGH, NORMAL, LOW 클래스별 대역요구량을 말한다.

$$BW_{allocation} = BW_{total} \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

$$= BW_{total} \left(\frac{R_{iH}}{\sum_{i=1}^n R_{iH}} + \frac{R_{iN}}{\sum_{i=1}^n R_{iN}} + \frac{R_{iL}}{\sum_{i=1}^n R_{iL}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

식1의 의미는 전체의 ONU의 대역 요구량 테이블을 가지고 이를 각각의 ONU들이 가지는 대역요구량을 결정하는 것을 의미하며, 제안한 알고리즘은 각각의 ONU들이 가지는 대역요구량뿐만 아니라 각 클래스별 대역 요구의 정보들도 가지고 있음을 말한다.

특정 ONU에서 지나치게 높은 부하량을 요구할 경우, 한 주기 시간이 가변적일 수 있다. 이러한 문제점의 발생을 막기 위하여 최대 Window Size를 제한하여야 하며 정의는 식2,3과 같다.

$$T_{MAX} = N(t_H + t_N + t_L) = N \left(3G + \frac{W_{MAX}}{R_U} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$W_{MAX} = \left(\frac{T_{MAX}}{N} - 3G \right) R_U \dots\dots\dots (3)$$

T_{MAX} = 폴링 한 주기 (2ms)
W_{MAX} = 각 ONU에게 보증하는 최대 Window Size
t = 폴링 한 주기 내에서 소비한 클래스 단위 시간
N = 총 ONU 개수
G = Guard Time (1μs)
R_U = 상향 최대 전송 속도(1Gbps)

식2의 T_{MAX} 는 모든 ONU가 동일한 서비스를 받는 가정에서 제안한 알고리즘의 폴링 주기를 말한다. 제안한 알고리즘은 주어진 폴링 주기 내에서 상위 클래스를 우선 처리해 주기 때문에 IPACT 방식에 비해 클래스의 수만큼 Guard Time이 늘어나게 된다. 따라서 식2,3에서 표현한 바와 같이 IPACT방

식에 비해 3배(3G)의 오버헤드 값을 갖게 된다.

각 ONU에게 보증하는 최대 Window Size는 식3에서 식2를 W_{MAX} 로 전개하여 구한다.

$$W_{MAX_H} \leq W_{MAX} \dots\dots\dots (4)$$

$$W_{MAX_N} \leq W_{MAX} - W_{MAX_H} \dots\dots\dots (5)$$

$$W_{MAX_L} \leq W_{MAX} - W_{MAX_H} - W_{MAX_N} \dots\dots\dots (6)$$

식4,5,6은 각 ONU의 클래스별로 보증하는 최대 Window Size를 말하며 전체 W_{MAX} 의 값을 구하여 상위클래스에 더 많은 Window size를 차등적으로 보증함을 표현한다. 제안한 알고리즘이 비록 3배의 Guard Time을 오버헤드로 수반하게 되지만 상위클래스(HIGH, NORMAL)의 대역요구에 우선권을 부여함으로써 실시간성 트래픽에 대한 성능개선을 보장하며 하위클래스(LOW)에 상대적 불리함을 수반하는 Trade-off의 특성을 가지게 한다.

3배의 Guard Time을 수반함에 따른 오버헤드는 약 'ONU수×0.101%' 비율이 됨을 표5에서 보인다.

[표 5] IPACT와 Proposal MAC의 W_{MAX} 와 오버헤드

N	W_{MAX_IPACT} (bit)	$W_{MAX_Proposal}$ (bit)	Overhead
4	499,000	497,000	0.40%
8	249,000	247,000	0.80%
10	199,000	197,000	1.01%
16	124,000	122,000	1.61%
32	61,500	59,500	3.25%
64	30,250	28,250	6.61%
128	14,625	12,625	13.68%

$$d = d_{poll} + d_{grant} + d_{queue} \dots\dots\dots (7)$$

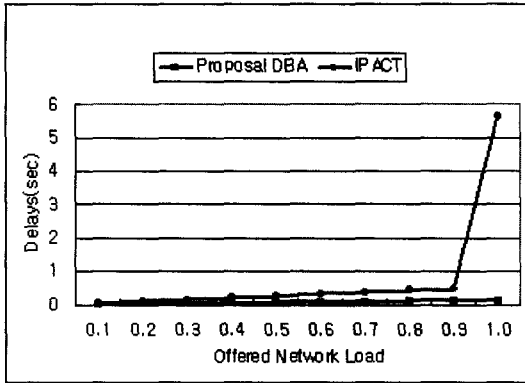
제안한 인터리브 폴링 MAC 프로토콜 환경에서 가지는 패킷지연의 구성요소를 식7에서 정의한다. 전체 지연 시간은 폴링지연, GRANT지연, 큐잉지연의 전체 합으로 한다.

V. 성능평가

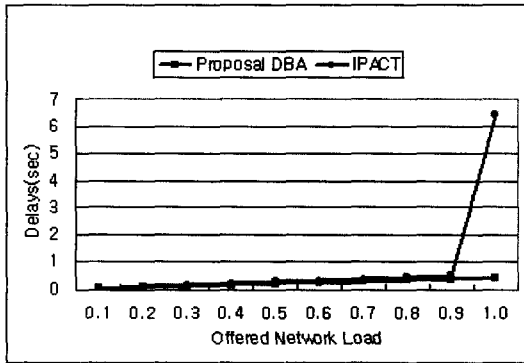
제안한 DBA알고리즘과 IPACT의 특성을 비교하기 위하여 네트워크의 부하량을 증가시켜가면서 클래스별 프레임이 가지는 평균지연성능을 측정하였다.

모의실험을 위하여 ONU의 개수는 10개, 각 ONU의 최대 부하량은 100Mbps, OLT와 ONU사이의 전송구간거리와 속도는 각각 10Km, 1Gbps로 설정하

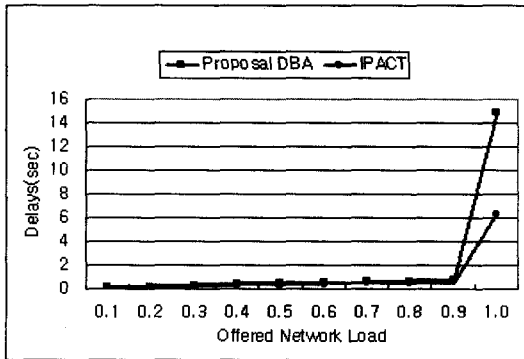
였다. Guard Time은 1 μ s, 폴링 주기는 2ms, 트래픽의 분포특성은 가정내 응용수를 54개로 설정한 것을 고려, 지속적인 트래픽이 발생된다는 가정을 기준으로 포아송분포로 설정하였다. 또한, 패킷길이는 최대값 1518 Byte로 설정하였으며 4장에서 설명한바와 같이 실시간과 비실시간트래픽의 비율과 응용수를 50:50 (HIGH: 20%, NORMAL:30%, LOW:50%)으로 환경 설정하였다.



[그림 6] HIGH 클래스 프레임의 평균지연특성



[그림 7] NORMAL 클래스 프레임의 평균지연특성



[그림 8] LOW 클래스 프레임의 평균지연특성

[표 6] 부하량 변화에 따른 제안한 DBA 방식의 프레임 평균지연값

Proposal DBA			
CLASS LOAD	HIGH(sec)	NORMAL(sec)	LOW(sec)
0.1	0.012	0.041	0.087
0.2	0.025	0.082	0.174
0.3	0.037	0.123	0.261
0.4	0.049	0.164	0.348
0.5	0.061	0.205	0.435
0.6	0.074	0.246	0.523
0.7	0.087	0.287	0.610
0.8	0.099	0.328	0.698
0.9	0.111	0.369	0.785
1.0	0.124	0.410	∞

[표 7] 부하량 변화에 따른 IPACT 방식의 프레임 평균지연값

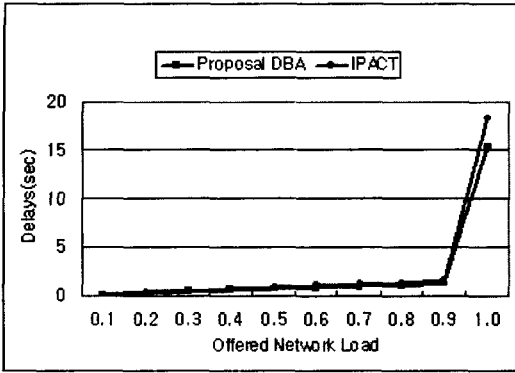
IPACT			
CLASS LOAD	HIGH(sec)	NORMAL(sec)	LOW(sec)
0.1	0.052	0.056	0.061
0.2	0.105	0.111	0.122
0.3	0.157	0.167	0.184
0.4	0.209	0.223	0.245
0.5	0.262	0.278	0.306
0.6	0.314	0.334	0.368
0.7	0.366	0.390	0.429
0.8	0.419	0.446	0.490
0.9	0.471	0.501	0.551
1.0	∞	∞	∞

그림 6, 7, 8과 표 6, 7에서는 본 논문에서 제안한 DBA방식과 IPACT방식의 HIGH, NORMAL, LOW 클래스별 프레임이 가지는 평균 지연특성을 비교하고 있으며, Offered network load는 정규화된 Traffic load이기 때문에 급격한 기울기를 갖는 망포화상태의 비수렴구간은 '∞'로 표기하였다.

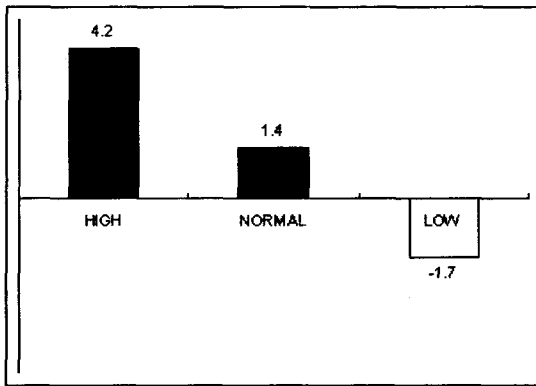
그림 6, 7, 8과 표 6, 7의 결과에서 보는바와 같이 제안한 알고리즘은 상위클래스의 대역요구의 보증을 우선시하고 IPACT에 비하여 불리함을 수반하는 3배의 Guard Time 오버헤드를 하위클래스에 부담하게 함으로서 QoS의 만족도를 높이는 결과를 보인다.

그림9는 제안한 DBA알고리즘과 IPACT방식에 관한 클래스 전체 프레임의 지연특성을 비교한 것으로서 두 방식의 망지연 특성은 비슷함을 알 수 있다. 하지만 그림10에서 보는바와 같이 제안한 DBA알고리즘을 IPACT방식과 수렴구간기준에서 클래스별 효율성을 비교해보면 HIGH, NORMAL, LOW간의 성능은 각각 +4.2배, +1.4배, -1.7배가 됨을 확인할 수 있다. 결과적으로 IPACT방식에 비교하여 제안한 DBA알고리즘은 3배의 Guard Time 오버헤드에 대한 결손량을 상위클래스에서 만회하여 전체적인 망

성능은 IPACT와 비슷하게 유지하면서 결과적으로 상위클래스의 QoS를 만족시켜주는 DBA 알고리즘이라는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 9] 전체 클래스 프레임의 평균지연특성



[그림 10] 제안한 DBA 알고리즘의 성능개선비율(수험구간기준)

VI. 결 론

본 논문에서 제안한 DBA 알고리즘은 우선순위가 높은 클래스에 상대적으로 높은 효율을 가지고 있어 최하위 등급인 LOW 클래스에서 가지는 결손량을 만회하여 실시간서비스 QoS의 개선을 가져다준다.

특히 2010년 이후에는 필요로 하는 순수트래픽 요구량의 증가뿐만 아니라 트래픽내의 실시간응용서비스의 비율도 동시에 고려하여야 한다.

제안한 DBA 알고리즘은 수험구간을 기준으로 LOW클래스는 -1.7배로 IPACT방식에 비하여 성능이 떨어지나 상위등급인 HIGH, NORMAL 클래스 성능개선비율이 각각 +4.2배, +1.4배로 향상되었다.

이러한 결과들은 향후 실시간트래픽비율이 높아질

것으로 예상되는 EPON 환경에서 QoS지원에 보다 합리적임을 기대할 수 있다.

향후 연구과제로서는 분기수와 클래스수의 증가에 따르는 오버헤드를 최소화 할 수 있는 DBA 알고리즘을 개발하여 보다 많은 가입자와 다양한 트래픽의 QoS를 지원할 수 있는 경제적인 EPON 구조를 설계하는 것이다.

참고문헌(Reference)

- [1] Kramer, G. Mukherjee, B. Pesavento, G. "IPACT a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)", IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue:2, Pages: 74~80, Feb 2002.
- [2] Kramer, G. Pesavento, G. "Ethernet passive optical network (EPON): building a next generation optical access network", IEEE Communications Magazine Volume:40 Issue:2, Pages: 66~73, Feb. 2002.
- [3] Tang Shan Ji. Yang Cheng Sheng, "EPON upstream multiple access scheme" Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001 Beijing. 2001 International Conferences on, Volume:2, Pages: 273~278, 2001
- [4] Maode Ma. Yongqing Zhu. Tee Hiang Cheng, "A bandwidth guaranteed polling MAC protocol for ethernet passive optical networks", INFOCOM 2003. Twenty- Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, Vol 1 , 30 March Pages: 22~31, April 2003.
- [5] Liu, D. Huebner, F. "Application profiling of IP traffic" Local Computer Networks, 2002. Proceedings. LCN 2002. 27th Annual IEEE Conference, Pages: 220~229, Nov. 2002.
- [6] 최수일, "EPON망에서 차등 CoS 제공을 위한 주기적 폴링 기반의 동적 대역 할당 방법", 한국 통신학회 논문지 03-7 Vol.28 No.7B, Pages: 620~627, 2003.07.
- [7] 김형수, "ITU-T SG13 Q.6의 표준화 연구동향", KT 기술조사평가단, 2002.09.
- [8] 유태환, "1Gb/s Ethernet PON 기술 및 표준화 동향", KT Standardization Trends, 2003.07.

