
GPON MAC 프로토콜을 위한 BR-DBA 알고리즘 설계 및 성능평가

장종욱* · 박성한*

Design and Performance Evaluation of the BR-DBA Algorithm for GPON MAC Protocol

Jong-Wook Jang* · Sung-Han Park*

이 논문은 2006년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

요 약

GPON기술은 하나의 OLT에 다수의 ONU가 연결되는 일대다점 구조를 가지고 있어 MAC 프로토콜이 필수적으로 사용되며 다양한 서비스를 지원하기 위해 DBA 알고리즘이 사용되어야 한다. 하지만 현재 GPON의 DBA 알고리즘에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 상태이며 대역폭 낭비 및 T-CONT 사이의 공정성 문제가 될 수 있는 BPON의 DBA알고리즘을 참조하고 있다. 따라서 본 논문에서는 BPON의 DBA 알고리즘의 문제점을 해결할 수 있는 BR-DBA 알고리즘을 제안하고 설계하였다. 설계한 BR-DBA 알고리즘을 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 통해 성능을 분석한 결과 BPON의 DBA 알고리즘에서 나타난 문제점이 해결된 것을 확인할 수 있었고 전체적인 Throughput이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

ABSTRACT

MAC protocol must be necessarily used because the GPON technology has Point-to-Multipoint structure as connecting an OLT with numerous ONUs. And DBA algorithm must be used to support various services too. There are a few researches in DBA algorithm of GPON, referring the DBA algorithm of BPON which has a waste of bandwidth and the fairness problem between T-CONTs. In this paper, we proposed the BR-DBA algorithm to be able to solve the problems of DBA algorithm on BPON and designed that. As a result of evaluating the performance of BR-DBA algorithm using the NS-2 network simulator, we confirm that the problems of DBA algorithm on BPON were solved and increasing the throughput over BR-DBA algorithm.

키워드

GPON, DBA, OLT, ONU, T-CONT

I. 서 론

최근 인터넷을 이용한 다양한 멀티미디어 콘텐츠들을 사용하고자 하는 서비스가입자가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 멀티미디어 서비스 사용자의 증가로 인해 요구 대역폭의 증가 및 질적인 향상이 요구되어지고 있다. 기간망은 2000년 초부터 연구를 통해 Gbps에서 Tbps까지 지원하는 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 개발하여 광대역 서비스와 인터넷의 수요를 감당할 수 있는 상황이다. 하지만 현재 가입자망에서 사용되고 있는 xDSL (Digital Subscriber Line)/HFC(Hybrid Fiber Coaxial) 기술은 수 Mbps급에 머물고 있기 때문에 병목구간이 발생되는 구조적인 문제점을 가지고 있다. 이러한 가입자망의 병목현상을 해결하기 위해서 제시되고 있는 기술 중 하나가 PON(Passive Optical Network)이다[1].

PON기술은 전송 프로토콜에 따라 크게 3가지로 분류 할 수 있다. ATM(Asynchronous Transfer Mode PON)을 기반으로 하는 APON(ATM PON)과 Ethernet을 기반으로 하는 EPON(Ethernet PON), 그리고 멀티프로토콜을 지원하는 GPON(Gigabit capable PON)으로 나눌 수 있다. 위의 3가지 PON기술은 공통적으로 하나의 OLT(Optical Line Terminal)에 다수의 ONU(Optical Network Unit)로 구성되는 점대다중점 방식을 가진다[2]. 이러한 PON기술의 구조적인 특징은 다수의 ONU들 사이에 공정하게 광 매체에 접근할 수 있는 권한을 부여하고, 다양한 서비스를 효율적으로 사용할 수 있도록 트래픽별 QoS(Quality of Service)를 지원하는 DBA(Dynamic Bandwidth Assignment) 알고리즘이 필수적으로 요구되어진다. 하지만 현재 GPON의 DBA 알고리즘은 연구가 부족한 상태이며 몇 가지 문제점을 가진 BPON의 DBA 알고리즘을 참조하고 있다. 따라서 본 논문에서는 BPON의 DBA 알고리즘을 대체할 수 있는 BR-DBA(Borrow and Refund DBA) 알고리즘을 제안하고 네트워크 시뮬레이터에 BR-DBA 알고리즘을 설계하여 그 성능을 분석한다.

II. GPON

2.1 GPON 기술 동향

GPON 기술은 BPON의 한계를 극복하기 위하여 2003년부터 ITU-T SG15그룹에 의해 표준화를 시작하였고,

네 개의 문서(G.984.1: GSR, G.984.2 : GPM, G.984.3 : GTC, G.984.4 : GOMCI)를 통해서 표준 규격을 완료하였다. 현재 Acatel, Lucent 등과 같은 업체에서 상용화 제품을 개발하고 있으며, OLT는 주로 FPGA를 통해 개발되고 ONU는 SoC 기반의 ASIC로 개발되고 있다. 개발업체들은 하향 2.488Gbps, 상향 1.244Gbps 버스트 모듈을 개발한 상태이며, 2006년 하반기까지 상·하향 2.488Gbps의 버스트 모드 모듈 개발을 목표로 하고 있다.

GPON 시장은 아직까지 거의 형성되어 있지 않고 있으며, Optical Solution사가 125개국에 약 45,000 회선 정도의 납품 실적을 보이고 있다. 그러나 향후 세계 GPON 시스템 시장은 급성장하여 2010년까지 총 4,000M 달러로 예측되고 있다[1].

2.1 GPON의 구조

GPON 망의 구조는 그림 1과 같이 표현될 수 있으며, 주요 규격은 아래와 같다[3].

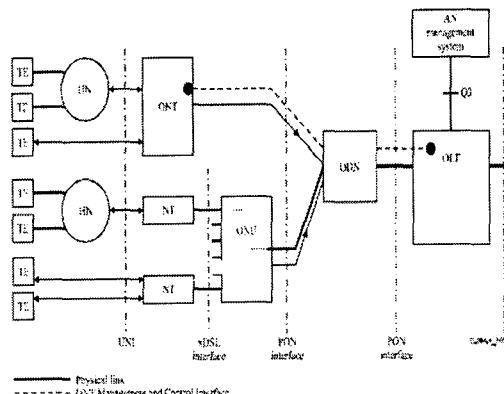


그림 1. GPON 망의 구조

Fig. 1. Structure of GPON network

- 1) GPON시스템은 전송 대역의 대칭/비대칭 구성 지원
- 2) $125\mu\text{sec}$ 주기의 프레임 전송 제어 지원
- 3) ATM 서비스 및 GEM 프레임을 이용한 IP/Ethernet/TDM 서비스 전송지원
- 4) 최대 4,096byte 길이 전송 및 긴 프레임의 SAR (Segment and Reassembly) 기능 지원
- 5) 4,096개의 T-CONT(Transmission Container) 기반의 DBA와 QoS 지원
- 6) 하향 링크에 대한 128bit CTR-AES 암호화, OAM, Protection, FEC 기능 지원

GPON은 하나의 OLT(Optical Line Terminal)와 다수의 ONU(Optical Network Unit)/ONT(Optical Network Terminal) 그리고 ODN(Optical Distribution Network)으로 구성되어진다. OLT는 CO(Central Office)에 설치되어 Metro 네트워크와 연결되며 GPON의 주요 기능을 하는 장비이고, ONU는 사용자망과 연결되어 다양한 서비스를 지원하기 위해 트래픽을 분류할 수 있는 기능을 가지는 장비이다. 마지막으로 ODN은 ONU와 OLT를 연결하는 광 수동소자이다[4][5].

2.2 GPON의 전송방식

GPON의 데이터 전송방식은 OLT에서 ONU로 데이터를 보내는 하향 전송은 Broadcasting 방식을 사용하고, ONU에서 OLT로 데이터를 보내는 상향 전송은 OLT가 각각의 ONU에게 Time slot을 할당하고 ONU는 할당 받은 Time slot 시간동안 데이터를 보내는 TDMA 방식을 사용한다. 그림 2는 상·하향 전송의 예를 보여주고 있다[6][7].

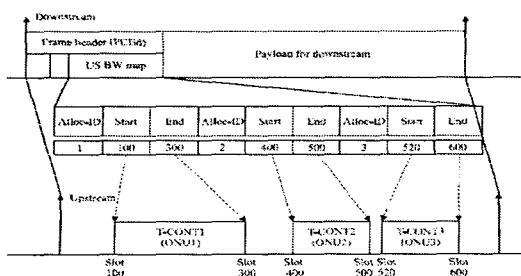
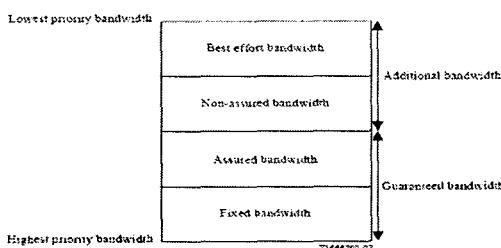


그림 2. 상·하향 전송 예

Fig. 2. Example of up/down stream transmission

2.3 GPON의 서비스 분류

GPON은 단일 광 매체를 이용해서 Triple-play 서비스(전화, 방송, 통신)를 지원하고, 효율적인 서비스를 위해 그림 3과 같이 트래픽을 4가지의 서비스로 분류한다[5].

그림 3. 서비스 분류
Fig. 3. Service categorize

낮은 지연이나 지터(jitter)를 요구하는 음성이나 고정 비트율을 가지는 영상 응용 트래픽은 Fixed BW 서비스로 분류되어지고 대역폭 할당에 있어서 가장 우선순위가 높다. 지연에는 덜 민감하지만 평균적인 대역폭을 요구하는 트래픽은 Assured BW 서비스로 분류되어지고, Best effort BW 서비스보다 대역폭 할당에 있어서 우선순위를 가지기 위한 트래픽들은 Non-assured BW 서비스 분류되어진다. 마지막으로 Best effort 서비스는 인터넷 트래픽을 위한 영역이고, 대역폭 할당에 있어서 우선순위가 가장 낮다.

4가지의 서비스로 분류된 트래픽은 GPON의 우선순위 큐와 같은 기능을 하는 T-CONT(Transmission Container)에 의해서 처리된다. 표 1은 T-CONT의 타입과 각 타입이 처리할 수 있는 서비스의 종류를 보여주고 있다.

표 1. T-CONT 타입과 서비스
Table 1. T-CONT Type and Service

Service	Assignment type	T-CONT type				
		Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
Fixed	Prvisioned	○				○
Assured	Prvisioned		○	○		○
Non-assured	Dynamic			○		○
Best-effort	Dynamic				○	○

III. BPON DBA 알고리즘

3.1 BPON DBA의 타임슬롯 할당방식

다양한 서비스를 처리하기 위해 GPON은 트래픽을 4가지의 서비스로 분류하였고, 각각의 서비스는 DBA 알고리즘에 의해서 타임슬롯을 할당받는다. 현재 GPON은 BPON의 DBA 알고리즘을 참조하고 있으며 표 2는 BPON의 DBA 알고리즘의 타임슬롯 할당방식을 설명하고 있다[8].

표 2. BPON DBA의 타임슬롯 할당방식
Table. 2 Assignment of time slot on BPON DBA

서비스 분류	대역 할당 알고리즘
Fixed BW	일정한 주기로 동일한 크기의 Time slot 할당
Assured BW	ONU의 요구에 따라 Time slot을 할당하되, 평균값이 보장된 대역폭을 상회할 경우는 더 이상 할당량을 증가시키지 않음
Non-assured BW	WRR(Weight Round Robin)방식
Best-effort BW	T-CONT 태입 1,2,3에서 할당되고 남은 Time slot을 RR 방식으로 분배

3.2 BPON DBA의 문제점

3.1에서 BPON의 DBA 알고리즘의 Time slot 할당 방식에 대해서 설명하였다. 하지만 BPON의 DBA 알고리즘은 아래와 같은 3가지 문제점을 가지고 있다.

1) Non-assured BW 서비스에 사용되는 WRR 방식은 타임슬롯의 요청량에 비율에 따라 타임슬롯을 할당하기 때문에 상황에 따라 평균이하의 요청량 조차도 보장되지 않아 공정성 문제가 발생한다.

2) Best effort BW 서비스에 사용되는 RR 방식은 요청량에 상관없이 공평하게 타임슬롯이 할당되기 때문에 타임슬롯이 낭비될 수 있다. 그림 4는 RR 방식으로 인해 타임슬롯이 낭비되는 예이다.

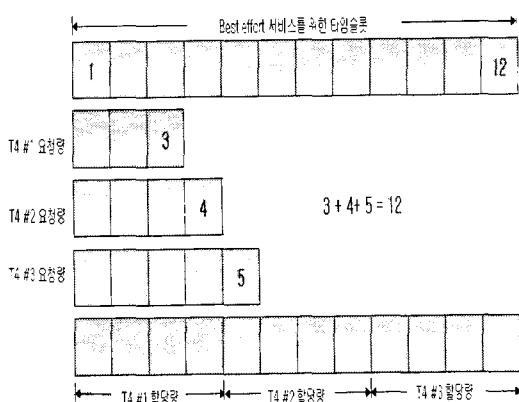


그림 4. RR 방식으로 인해 타임슬롯이 낭비되는 예
Fig. 4. Example of time slot waste from RR method

3) Assured BW 서비스에 사용되는 일정시간 동안 평균 대역폭을 보장하는 타임슬롯 할당방식은 평균 이상의 대역폭을 요청하게 되면 더 이상의 타임슬롯을 할당하지 않기 때문에 상황에 따라서 Addition BW 서비스에서는 타임슬롯이 남고 Assured BW 서비스에서는 타임슬롯이 모자라는 경우가 발생한다.

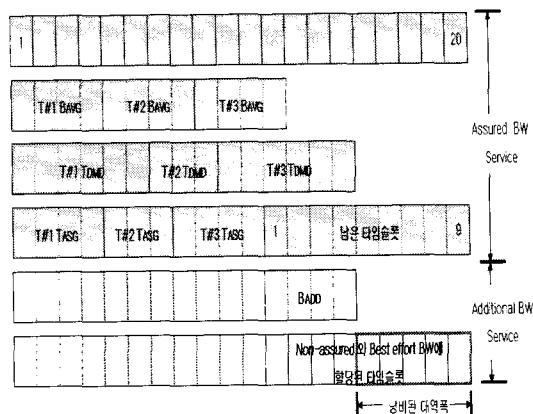


그림 5. 보장된 대역폭으로 인해 타임슬롯이 낭비되는 예

Fig. 5. Example of time slot waste from guarantee bandwidth

IV. 제안하는 BR-DBA 알고리즘

4.1 BR-DBA 알고리즘 기본 개념

BR-DBA(Borrow and Refund DBA) 알고리즘의 Fixed BW 서비스의 타임슬롯 할당 방식은 BPON의 DBA 알고리즘과 동일하며 Assured BW 서비스의 타임슬롯 할당 방식은 BPON DBA의 보장된 평균 대역폭 방식과 본 논문에서 제안한 BR(Borrow and Refund) 방식을 같이 사용하고 Non-assured BW 서비스와 Best effort 서비스는 BR 방식을 사용한다. 아래는 BR 방식의 동작순서이며 표 3은 BR-DBA 알고리즘에 의해서 타임슬롯이 할당되는 예이다.

- 1) 임시적으로 타임슬롯을 할당
- 2) 상황에 따라서 타임슬롯을 빌려주고 돌려줌
- 3) BR테이블 작성
- 4) 최종적으로 타임슬롯 할당

표 3. BR-DBA의 타임슬롯 할당 예
Table. 3 Exampel of time slot assignment on BR-DBA

		T#1	T#2	T#3
첫 번째 상향 전송	Time slot 15	5	5	5
	요구 Time slot	4	5	6
	할당된 Time slot	4	5	6
BR 테이블		1	0	-1
두 번째 상향 전송	Time slot 12	4	4	4
	요구 Time slot	5	5	5
	할당된 Time slot	5	4	3
BR 테이블		0	0	0

4.2. BR 방식의 타임슬롯 할당 순서도

그림 6은 BR 방식의 타임슬롯 할당 방식을 순서도이며, 순서도에 사용된 주요 수식은 아래와 같다.

$$\sum_{i=1}^{N_{AS}} D_{AS}(i) \leq \sum_{i=1}^{N_{AS}} B_{AVG}(i) \quad (1)$$

: T-CONT들의 요구대역폭의 합과 보장된 평균대역폭 합 비교

$$(B_{Target} - \sum_{i=0}^{N_{AS}} B_{AVG}(i)) > B_{ADD} \quad (2)$$

: Additional BW의 가용 대역폭의 존재 여부 확인

$$X = B_{Target} - \sum_{i=0}^{N_{AS}} B_{AVG}(i) - B_{ADD} \quad (3)$$

: Additional BW의 가용 대역폭 크기 계산

$$Y = \sum_{i=1}^{N_{AS}} D_{AS}(i) - \sum_{i=1}^{N_{AS}} B_{AVG}(i) \quad (4)$$

: 요구대역폭의 합과 보장된 평균대역폭 합의 차의 계산

$$\sum_{i=1}^{N_{AS}} D_{AS}(i) \leq \sum_{i=1}^{N_{AS}} B_{AVG}(i) + X \quad (5)$$

: 보장된 평균대역폭과 X의 합과 요구대역폭의 합 비교

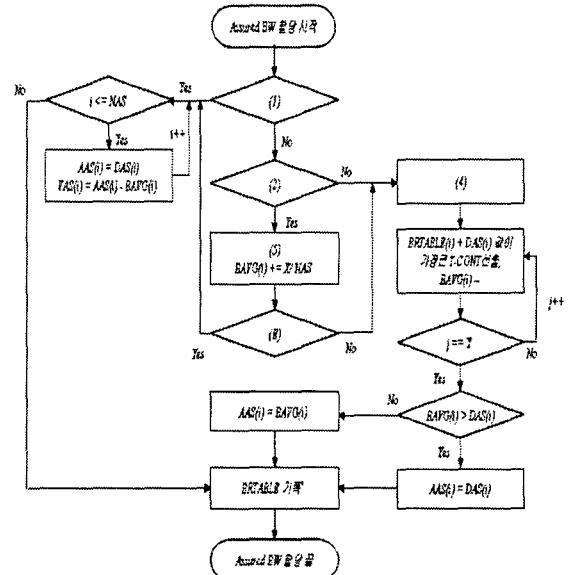


그림 6. BR방식의 타임슬롯 할당 순서도
Fig. 6. Flow chart of time slot assignment on BR method

순서도에서 수식 1과 수식 4은 BR방식을 위해 필수적으로 사용되며, 수식 3,4,5은 BPON의 DBA 알고리즘에서 세 번째 문제였던 Assured BW 서비스를 위한 타임슬롯은 부족하고 Additional BW 서비스를 위한 타임슬롯이 남는 문제를 해결하기 위해 Assured BW 서비스의 타임슬롯 할당에 사용되는 수식이다.

그림 7은 타임슬롯을 빌려주고 빌려받은 정보를 저장하는 BR테이블을 보여주고 있으며. 각각의 필드의 정의는 아래와 같다.

- T-CONT Type : T-CONT 타입
- T-CONT ID : T-CONT ID
- Account : T-CONT 사이의 BR 정보를 저장
- R_PRI : 타임슬롯을 빌려줄 때 우선순위 정보, “0” “1”的 값을 가지며 “0이 우선순위가 높음, 동일 우선순위 일 경우 T-CONT ID가 낮은 T-CONT가 우선 위를 가짐.
- B_PRI : 타임슬롯을 빌릴 때 우선순위 정보
- A_PRI : Additional BW의 가용 타임슬롯을 할당 받을 때 우선순위 정보

T-CONT Type	T-CONT ID	Account						R_PRI	B_PRI	A_PRI
		Total	#1	#2	#N	#N+1				
2	1096	4	-1	0	3	2	0	1	0	0

그림 7. BR 테이블
Fig. 7. BR Table

V. 실험 및 성능평가

시뮬레이션 환경은 표 4와 같이 설정하였고, BR-DBA 알고리즘과 BPON의 DBA 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 공정성, Throughput, 큐의 지연시간을 측정하였다.

표 4. 시뮬레이션 환경
Table. 4 Simulation circumstance

		설 명
시뮬레이션 툴		NS-2 version2.9
ONU 수		32 개
T-CONT 타입		타입 1,2,3,4
Packet Size	Fixed BW	1,500 bytes
	Assured BW	4,096 bytes
	Non-assured BW	4,096 bytes
	Best effort BW	4,096 bytes
대역 폭	상 향	1.24416 Gbps
	하 향	2.48832 Gbps

1) Throughput

두 개의 DBA 알고리즘을 이용해서 10초 동안 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽을 계속적으로 생성하고 OLT에서 처리한 누적 프레임 계산하였다. 그림 8은 시간에 따른 처리한 누적 프레임을 보여주고 있으며, BR-DBA 알고리즘이 시간이 증가함에 BPON의 DBA 알고리즘의 처리량이 더 가파르게 상승하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 BPON의 DBA 알고리즘에서 나타났던 타임슬롯이 낭비되는 문제를 해결한 결과이다.

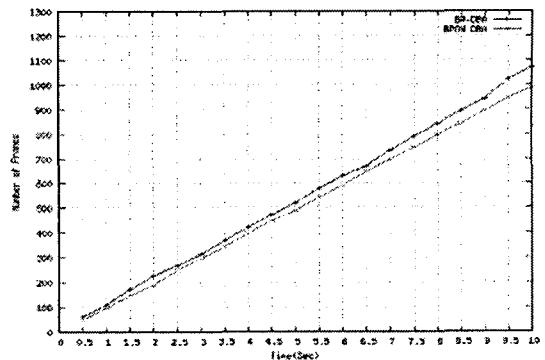


그림 8. 누적 프레임
Fig. 8. Accumulation frame

2) 공정성

T-CONT 사이의 타임슬롯에 있어 공정성 문제를 확인하기 위하여 32개의 Non-assured BW 서비스를 요구하는 T-CONT 생성하고, 각각의 T-CONT들은 자신의 T-CONT 번호와 동일한 타임슬롯을 요청하도록 하였다. 그리고 각각의 T-CONT들에게 평균적으로 10개의 타임슬롯이 할당되게 하기 위해 상향 전송을 위한 타임슬롯을 320개로 설정하였다. 그림 9는 각각의 T-CONT가 할당받은 타임슬롯의 수를 나타내며, BR-DBA 알고리즘에서는 평균 이하의 타임슬롯을 요청한 T-CONT들에게 요청한 만큼의 타임슬롯이 모두 할당되는 것을 확인할 수 있다.

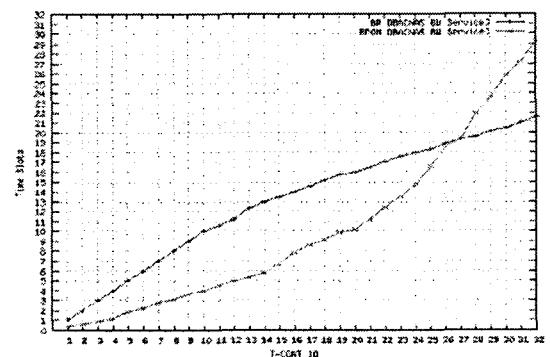


그림 9. 평균 타임슬롯 할당량
Fig. 9. Assignment amount of average time slot

3) 큐의 지연

그림 10은 두 개의 DBA 알고리즘의 큐의 평균 지연시간을 측정한 것이다. BR-DBA 알고리즘이 평균적으로 2배 작은 지연시간을 보이고 있다.

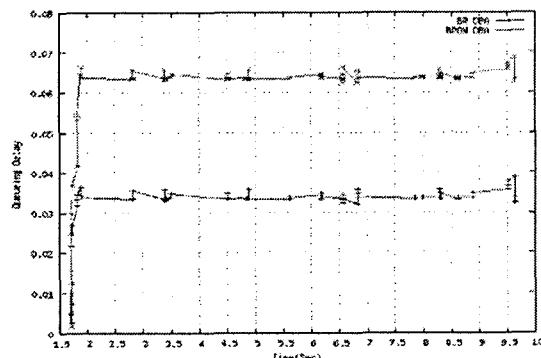


그림 10. 큐의 평균 지연시간
Fig. 10. Average delay time of queue

그림 11은 BR테이블의 Account 필드가 큐의 지연시간과의 관계를 보여주는 그림이다. Account 필드의 크기가 4~5 경우 가장 낮은 큐의 지연시간을 보였다.

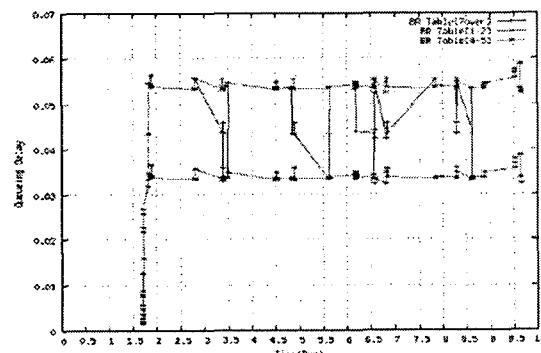


그림 11. Account 필드 크기와 큐의 지연시간
Fig. 11. Account field and delay time of queue

VI. 결 론

현재 낮은 대역을 제공하는 가입자망을 대체하기 위한 기술로 GPON 기술이 주목받고 있다. GPON 기술은 단일 광매체로 다양한 서비스를 지원하기 위해서는 DBA 알고리즘이 필수적으로 사용되어져야 한다. 하지

만 GPON의 DBA 알고리즘의 대한 연구가 미흡한 상태이며, 현재 GPON에서 참조하고 있는 BPON의 DBA 알고리즘은 다양한 서비스를 지원하는데 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 BPON의 DBA 알고리즘이 가지고 있는 문제점을 해결할 수 있는 BR-DBA 알고리즘을 제안하고 네트워크 시뮬레이터를 통해 성능 평가를 하였다. 그 결과 BPON DBA 알고리즘에서 문제가 되었던 T-CONT 사이의 공정성 문제 및 타임슬롯이 낭비되는 문제가 해결된 것을 확인할 수 있고, 전체적인 Throughput이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

- [1] 이유태, 한동환, 전덕영, 김승환, “ATM-PON에서의 효율적인 DBA 알고리즘 제안 및 성능분석”, 한국통신학회논문지, 2002.
- [2] ETRI TM200508410, “GPON 기술 및 시장동향”, 2005. 11.
- [3] ETRI, “GPON 기술 표준 규격 및 개발 동향”, 2006. 2.
- [4] ITU-T G.984.1, “General characteristics for Gigabit-capable Passive Optical Networks”, 2003. 3.
- [5] ITU-T G.984.2, “Gigabit-capable Passive Optical Networks(GPON) : Physical Media Dependent (PMD) layer specification”, 2003. 3.
- [6] ITU-T G.984.3, “Gigabit-capable Passive Optical Networks(GPON) : Transmission convergence layer specification”, 2004. 4.
- [7] ITU-T G.984.4, “Gigabit-capable Passive Optical Networks(G-PON) : ONT management and control interface specification”, 2004. 6
- [8] ITU-T G.983.4, “A broadband optical access system with increased service capability using dynamic bandwidth assignment”, 2004. 4.
- [9] Eyal Shraga, FlexLight Networks, “GPON Overview : Architecture and Technology Committe”, 2004. 11.

저자소개

장 종 육(Jong-Wook Jang)



1987 부산대학교 전산통계학과(학사)
1991 충남대학교 전산학과(석사)
1995 부산대학교 컴퓨터공학과(박사)

1987~1995 한국전자통신연구소 통신연구단 연구원
1997~1998 한국전자통신연구원 PEC 초빙연구원
1999~2000 미주리주립대 Visiting Scholar(Post.Doc)
1995~ 동의대학교 컴퓨터 공학과 교수
※ 관심분야 : PON MAC Protocol, Mobility Management

박 성 한(Sung-Han Park)



2005 동의대학교 컴퓨터공학(학사)
2005~ 동의대학교 석사과정

※ 관심분야 : RFID, MAC 프로토콜, MPLS