

ATM-PON에서 버스트 트래픽을 지원하는 SR/NSR 다중 모드 MAC Protocol 설계 및 구현

정회원 장 성 호*, 장 종 욱**

A Design and Implementation of Integrated MAC Protocol with SR/NSR-ONU supporting the burst traffic over ATM-PON

Seong-ho Jang*, Jong-wook Jang** *Regular Members*

요 약

광대역 액세스 망에서 합류, 분배 지점에서의 효율을 고려한 PON(Passive Optical Network)의 설계는 중요한 관심거리가 되고 있다. PON 구조는 매우 간단하지만, 가입자들에서 발생하는 상향 트래픽 제어를 위해서는 매체 접근 제어 프로토콜이 필요하다. 본 논문에서는 여러 트래픽 클래스를 지원하는 ATM-PON을 사용하는 광대역 액세스 망을 위한 Request-Counter MAC 프로토콜을 제시한다. 제안된 매체 접근 제어 프로토콜을 위해 ITU-T G.983을 기반으로 하여 Grant Field 형식과 Minislot 형식, 그리고 대역 할당 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과 종래의 매체 접근 제어 프로토콜보다 더 나은 서비스 품질을 보장받을 수 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Earlier efforts on optical access concentrated on the design of PONs for the collection and distribution portion of the access network. PON architecture is very simple but it requires MAC protocol for control of upstream traffic. This paper proposes a Request-Counter MAC protocol for a broadband access network using an ATM Passive Optical Network supporting CBR/rVBR, nrtVBR, UBR and ABR traffic. For the proposed MAC scheme, we present Grant Field format, Minislot format, and bandwidth allocation algorithm. From the simulation result, we have confirmed that our proposed scheme can reduce the average cell delay in comparison to that of conventional MAC schemes.

I. 서 론

인터넷을 비롯한 광대역 멀티미디어 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 가입자망의 고도화가 통신 산업에서 가장 큰 이슈가 되고 있다. 90년대 초반부터 새롭게 제기된 광통신 서비스들의 빠른 확산은 여러 형태의 액세스 망 통신 구조를 제시하였고, 주목할만한 발전을 끌어낸 중요한 요인이 되었다.

광 통신망은 원격의료, 원격교육, 화상회의, VOD (Video On Demand), HDTV(High Definition TV)

등의 차세대 초고속 멀티미디어 서비스를 수용할 수 있는 해결책으로 제시되고 있다. 미국의 Bell Atlantic, 영국의 BT 그리고 일본의 NTT 등을 포함하는 통신회사들은 이러한 차세대 초고속 멀티미디어 서비스를 수용하기 위해 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 지원하는 광대역(Broadband) 망을 개발 중에 있다.

ATM 시스템이 상용화되기 위해서는 대중적인 가격이 형성되어야 하는 데 이 문제가 상용화를 앞당기는 데 걸림돌이 되고 있다. 이를 해결하기 위해

* 동의대학교 컴퓨터공학과 데이터통신 연구실(jsh1031@netian.com), ** 동의대학교 컴퓨터공학과 (jwjang@dongeui.ac.kr)
 논문번호 : 020220-0507, 접수일자 : 2002년 5월 7일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구사업 "R05-2002-000-00230-012002"에서 지원 받아 수행되었습니다.

서는 상품의 대량생산이 필요하다. 따라서 위에서 언급된 통신회사를 중심으로 FSAN Gx를 결성하여 대량 생산을 위한 광 가입자망 관련 기술 표준화를 시도하고 있다.

FSAN Gx는 1995년 6월에 7개 통신회사(BT, DT, FT, KPN(Dutch PTT), NTT, TTI)가 공동통신망에서 광대역 서비스(Broadband Service) 실시를 가속화하는데 필요한 제품의 대량생산을 위하여 최소한의 요구사항을 정하였고, 그 중에서 가입자 망 구조로서 ATM-PON 구조가 가장 경제적인 구조로 알려지고 있다. 수동적인 구조에 있어서의 장점은 저렴한 비용, 간편한 유지 보수 및 전원이다. 현재 처럼 여전히 고비용의 FTTH(Fiber To The Home) 광대역 망은 미래에도 전망이 밝지 않다. ATM 스위칭을 제공하고, 수동적인 광대역 구조에 기반을 둔 FTTH망은 시험 개발되어 왔고 표준화 중이다. 많은 표준들 중에서 공통된 규격 및 표준화된 솔루션을 FSAN 포럼에서 정의하고 ITU-T에서 표준으로 권고한 사항이 G.983.1과 G.983.2이다.

ATM-PON의 여러 요소 기술들 중 특히 전광 매체 접근 제어(MAC : Multiple Access Control) 프로토콜은 여러 가입자가 다양한 성질의 멀티미디어 서비스를 원하고 그리고 공동의 매체를 사용하는 PON(Passive Optical Network) 구조이기 때문에 더욱 중요하다. 다시 말하면, PON의 성능은 각 가입자가 충돌 없이 서비스를 사용할 수 있도록 시간 슬롯(Time Slot)을 적절하게 할당하는 매체 접근 제어 기술이 핵심이다. 그러나 매체 접근 제어 부분에서의 표준은 정해져 있지 않고 많은 다중 매체 접속 제어(MAC: Multiple Access Control) 프로토콜이 제시되고 있지만 대부분의 알고리즘들은 다양한 트래픽을 고려하지 못하는 약점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 G.983 표준을 응용하여 가입자망의 구조 및 서비스에 독립적이고 통신 망 접속에 효율적인 다중 매체 접근 제어 프로토콜을 설계하고 성능 분석을 통하여 증명하고자 한다.

II. ATM-PON과 프레임의 구조

이 장에서는 ATM-PON 시스템의 전체 구조와 ATM-PON에서 전송되는 프레임의 구조에 대하여 소개한다.

1. ATM-PON의 구조

ATM-PON 시스템은 <그림 1>과 같이 OLT

(Optical Line Termination), ONUs(Optical Network Units), ODN(Optical Distribution Network) 3 종류의 서브 시스템으로 구성된다^[1]. 현재의 ATM-PON 구조는 ITU-T의 G.983.1에서 권고하는 바와 같이 가입자에서 기간 망까지의 155.520 Mbit/s 또는 622.080Mbit/s 상향 채널, 기간 망으로부터의 622.080Mbit/s 하향 채널을 기준으로 하고 기간망으로부터 반경 20Km 이내의 가입자를 수용하고 있다^[2,3]. 일반적으로 하나의 OLT는 16개 혹은 32개의 ONU들을 제어할 수 있다.

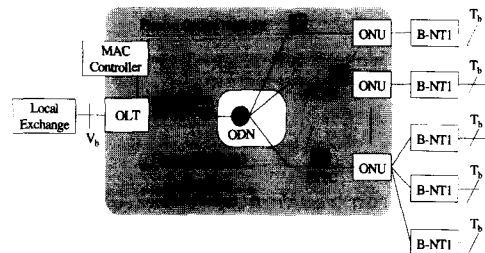


그림 1. ATM-PON 시스템의 구성

본 연구에서는 상향 채널을 155.520Mbps로 하고 하향 채널을 622.080Mbps로 하여, 32개의 ONU들을 고려하여 진행하였다. 각각의 ONU들은 ATM의 서비스에 따른 트래픽 클래스를 지원하기 위해 4개의 큐(Queue)를 가진다. 4개의 큐에 해당하는 트래픽 클래스는 각각 CBR/rVBR, nrtVBR, UBR, ABR이다^[4,5,6].

2. 프레임 구조

ATM-PON에서는 프레임 단위로 데이터를 전송한다. 프레임의 구조는 상향일 때와 하향일 때가 다르고 대역폭에 따라 다시 구조가 달라진다.

2.1 상향 155.520Mbps 하향 155.520Mbps

<그림 2>는 상향, 하향이 모두 155.520Mbps의 대역폭으로 구성될 경우의 프레임 구조를 보여준다. 상향 프레임은 53개의 Slot으로 구성되어 있고, 각각의 Slot은 3Byte의 오버헤드(Overhead)와 53Byte의 ATM Cell로 구성된다. 하향 프레임은 56개의 Slot으로 구성되어 있다. 각각의 Slot은 53Byte의 ATM Cell로 구성되어 있고, 매 28개의 Slot마다 PLOAM(Physical Layer Operations, Administration and Maintenance) Cell이 1개 포함된다. 즉, 첫 번째와 29번째 Slot은 PLOAM Cell로 구성된다. ATM Cell은 데이터를 전송하기 위해 사용하고,

PLOAM Cell은 제어 메시지를 전송하기 위해 사용된다.

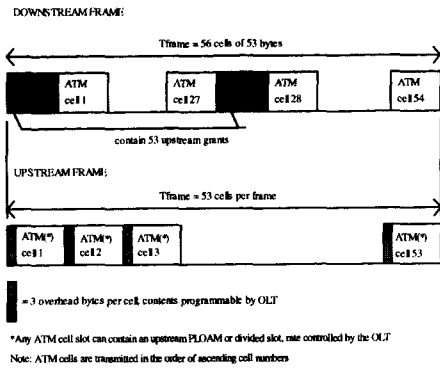


그림 2. 프레임 형식 (155.520Mbps)

2.2 상향 155.520Mbps 하향 622.080Mbps

<그림 3>은 상향 155.520Mbps, 하향 622.080Mbps일 경우의 프레임 구조를 보여준다.

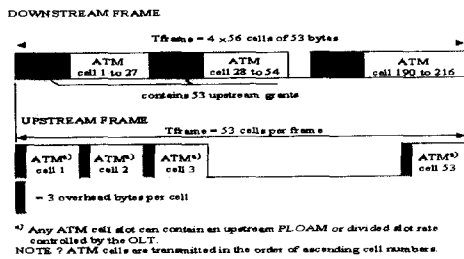


그림 3. 프레임 형식 (622.080Mbps)

상향일 경우는 <그림 2>와 동일하다. 하향일 경우 프레임은 224개의 Slot으로 구성되고, 마찬가지로 첫 번째 Slot부터 매 28번째 Slot은 PLOAM Cell로 구성된다. 하나의 하향 프레임에 총 8개의 PLOAM Cell이 포함된다.

ATM-PON은 노드들이 트리 구조로 분산되어 있는 물리적 특성을 가지므로 매체 접근 제어 프로토콜에서 상향 TDM 슬롯의 동적 할당을 위해서는 예약 방식을 기반으로 하는 요구/허락형 전송 방식을 사용한다. ONU들은 OLT의 허가에 의해 상향 프레임 내에 PLOAM Cell 대신에 Divided_slot을 포함하여 전송할 수 있다. 이때 각 ONU의 큐 상태를 Minislot에 저장하고, 이 Minislot을 Divided_slot에 포함하여 빈 Slot을 요청한다. OLT는 하향 프레임의 PLOAM Cell 내부에 Grant 메시지를 포함하여 전송함으로써 ONU들의 요구를 허락하게 된다.

3. Downstream PLOAM Cell 구조

3.1 Downstream PLOAM Header

<표 1>은 G.983.1에 정의된 하향 PLOAM Cell의 헤더를 보여준다.

표 1. 하향 PLOAM Cell Header (Hex Code)

Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4	Octet 5
00	00	00	0D	HEC = valid code 76

3.2 Downstream PLOAM Payload

<표 2>는 하향 PLOAM Cell의 Payload 내용을 보여준다. 3장에서 설명할 메시지들이 하향 PLOAM Cell을 통해 OLT에서 ONU로 전달된다.

표 2. 하향 PLOAM Cell의 Payload

payload byte	content	payload byte	content
1	IDENT	25	GRANT20
2	SYNC1	26	GRANT21
3	SYNC2	27	CRC
4	GRANT1	28	GRANT22
5	GRANT2	29	GRANT23
6	GRANT3	30	GRANT24
7	GRANT4	31	GRANT25
8	GRANT5	32	GRANT26
9	GRANT6	33	GRANT27
10	GRANT7	34	CRC
11	CRC	35	MESSAGE_PON_ID
12	GRANT8	36	MESSAGE_ID
13	GRANT9	37	MESSAGE_FIELD1
14	GRANT10	38	MESSAGE_FIELD2
15	GRANT11	39	MESSAGE_FIELD3
16	GRANT12	40	MESSAGE_FIELD4
17	GRANT13	41	MESSAGE_FIELD5
18	GRANT14	42	MESSAGE_FIELD6
19	CRC	43	MESSAGE_FIELD7
20	GRANT15	44	MESSAGE_FIELD8
21	GRANT16	45	MESSAGE_FIELD9
22	GRANT17	46	MESSAGE_FIELD10
23	GRANT18	47	CRC
24	GRANT19	48	BIP

4번째 Byte부터 34번째 바이트들에 각각의 Grant가 포함된다. 하나의 PLOAM Cell에 27개의 Grant가 포함될 수 있고 하향 PLOAM Cell 2개를 이용하여 상향 프레임의 53개 Slot에 대한 Grant를 할 수 있다. 35번째 바이트부터는 역시 3장에서 설명할 Configuration 메시지들이 포함되는 위치이다.

III. 슬롯 할당을 위한 메시지 형태

ATM-PON에서는 상향과 하향 프레임의 PLOAM Cell을 이용하여 ONU들과 OLT의 상호 의사소통과 제어가 가능하다. 이 장에서는 본 연구에서 제시한 Request-Counter MAC 프로토콜에 사용되는 메시지들을 정의한다.

1. Grant 메시지 구조

OLT가 ONU들의 요구 조건을 허락하기 위해 사용하는 Grant Field는 전부 7개가 있다. <표 3>에 서와 같이 G.983.1에서는 Ranging Grant, Unassigned Grant, Idle Grant의 3개 Grant만 정의하고 있다.

표 3. G.983.1 표준에 정의된 Grant들

Type	Encoding	Definition
Data Grant	See Fig. 5	데이터 전송을 허가
PLOAM Grant	Any value except 1111 1101 1111 1110 1111 1111	상향 PLOAM Cell 전송을 허가
Divided_slot Grant	See Fig. 4	Divided_slot 전송을 허가
Reserved grants	110x xxxx	예약 (사용안함)
Ranging Grant	1111 1101	Ranging process를 위한 허가
Unassigned Grant	1111 1110	사용되지 않는 stream Slot을 위한 허가
Idle Grant	1111 1111	Idle Grant (ONU에서 무시됨)

이 장에서는 G.983.1에 정의되지 않은 4개의 Grant 메시지 중에서 Divided_slot Grant와 Data Grant를 정의하였다.

1.1 Divided_slot Grant

Divided_slot Grant는 데이터 전송을 위해 ONU가 필요한 대역을 신청할 수 있도록 OLT가 허가하는 메시지이다. OLT는 주기적으로 Divided_slot Grant 메시지를 전송하고 ONU에서 Divided_slot을 수신함으로써 ONU에서 필요한 대역을 수집한다. <그림 4>는 본 연구에서 정의한 Divided_slot Grant Field의 구조이다.

처음 3Bit는 메시지 식별자이다. 다음의 3Bit는 Divided_slot의 순서를 지정하는데, 이것은 한 프레임 당 최대 8개의 Divided_slot을 전송할 수 있다는

1	2	3	4	5	6	7	8
Identification			Sequence			Spare	

Identification Field : 100

Sequence Field :
 1st Divided_slot = 000
 2nd Divided_slot = 001
 3rd Divided_slot = 010
 4th Divided_slot = 011
 5th Divided_slot = 100
 6th Divided_slot = 101
 7th Divided_slot = 110
 8th Divided_slot = 111

그림 4. Divided_slot Grant Field 형식

것을 의미한다. 하나의 Divided_slot은 4개의 Minislot을 포함하고 있으므로, 한번에 최대 32개의 요청을 받아들일 수 있다.

1.2 Data Grant

Data Grant는 OLT가 ONU에게 데이터 전송을 허락할 때 사용하는 메시지이다. <그림 5>는 Data Grant Field의 구조를 나타낸다.

1	2	3	4	5	6	7	8
ID	ONU address					Class	

ID(Identification) Field : 0

Class Field : CBR/rtVBR data Grant = 00
 nrtVBR data Grant = 01
 UBR data Grant = 10
 ABR data Grant = 11

그림 5. Data Grant Field 형식

처음 1Bit는 메시지 식별자이고, 그 다음의 5Bit는 32개 ONU들의 식별자($2^5=32$)로 사용된다. 마지막 2Bit는 ONU의 4개 큐 중에서 어떤 큐의 데이터를 전송할 것인지를 알려준다.

2. Minislot 구조

각각의 ONU가 데이터 전송을 위한 Slot을 요청하기 위해 사용하는 Divided_slot은 4개의 Minislot으로 구성된다. Divided_slot과 Minislot의 구조가 <그림 6>에 나타나있다.

하나의 Minislot은 112Bit로 구성되어 있고, 각각 3Byte의 Overhead를 가진다. 그 다음 4개의 Field는 각각의 ONU에 있는 큐의 상태를 트래픽 클래스 별로 나타내는데, 각각의 Field들은 22Bit를 차지하며, 최대 $2^{22}=4,194,304$ 개 slot을 요청할 수 있다.

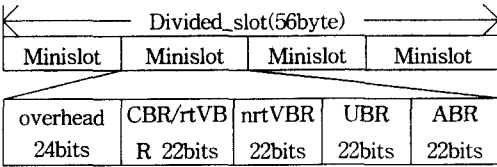


그림 6. Minislot 형식

3. Divided_Slot_Grant_configuration 메시지 구조

OLT는 Divided Slot을 전송할 수 있도록 ONU에게 Divided_slot Grant와 Divided_Slot_Grant_configuration 메시지를 동시에 전송한다. <표 4>에 서와 같이 Divided_Slot_Grant_configuration message는 7 Octet으로 구성되어 있다.

표 4. Divided_Slot_Grant_configuration 메시지

Octet	Content	Description
35	PON_ID	수신 ONU 식별자
36	0000 1011	Message 식별자
37	0000 000a	a:1 = divided Slot 전송 허가 a:0 = divided Slot 전송 불가
38	DS_GR	Grant value 정의
39	LENGTH	Minislot Payload의 길이
40	OFFSET	Minislot offset 정의
41	Service_ID	Minislot에 매핑되는 service
42..46	Unspecified	

각 Octet은 하향 PLOAM Cell 내부에서의 Octet 순서를 의미한다. 첫 번째 Octet은 수신 ONU의 ID, 두 번째 Octet은 메시지 식별자, 세 번째 Octet은 전송 허용 유무를 나타낸다. 네 번째 Octet부터 여섯 번째 Octet은 Divided Slot에 포함될 Minislot의 길이를 지정하고, 마지막 Slot은 서비스 식별자이다.

4. Grant_allocation 메시지 구조

<표 5>에 나타난 바와 같이 OLT가 ONU에게 데이터를 전송하도록 허가하거나 상향 PLOAM Cell을 전송하도록 허가할 때 보내는 메시지가 Grant_allocation 메시지이다. 이 메시지는 Data Grant 혹은 PLOAM Grant 메시지와 함께 하향 PLOAM Cell 내부에 저장되어 전송된다.

Grant_allocation 메시지도 Divided_Slot_Grant_configuration 메시지와 마찬가지로 7개의 Octet으로 구성되어 있다. 첫 번째 Octet은 수신 ONU의 ID,

두 번째 Octet은 메시지 식별자, 세 번째 Octet은 데이터 전송을 허가할 ONU 식별자를 나타내고 네 번째 Octet은 데이터 전송 허용 여부를 결정한다. 다섯 번째 Octet은 어떤 큐의 데이터를 전송할지를 알려준다. 여섯 번째 Octet과 일곱 번째 Octet은 상향 PLOAM Cell의 전송을 허가하기 위해 사용된다.

표 5. Grant_allocation 메시지

Octet	Content	Description
35	PON_ID	수신 ONU 식별자
36	0000 1010	Message 식별자
37	dddd dddd	Data 전송을 허가할 ONU ID
38	0000 000a	a:1 = 데이터 전송 허가 a:0 = 데이터 전송 불가
39	0000 xxxx	처리해야할 큐의 종류 지정
40	pppp pppp	PLOAM Cell 전송을 허가할 ONU ID
41	0000 000a	a:1 = PLOAM Cell 전송 허가 a:0 = PLOAM Cell 전송 불가
42..46	Unspecified	

IV. Slot 할당 순서와 알고리즘

이 장에서는 본 연구에서 제안된 매체 접근 제어 프로토콜의 흐름과 Dynamic Slot Allocation 알고리즘을 소개한다.

1. MAC 프로토콜의 흐름

본 연구에서 제시된 매체 접근 제어 프로토콜이 ATM-PON에서 동작하는 세부 과정은 다음과 같다. OLT와 ONUs 사이의 상호 정보 전달과 제어는 3장에서 언급한 메시지들을 통해 이루어진다.

- 1) Step 1 : OLT가 주기적으로 전체 ONU에게 Divided_slot Grant를 하향 PLOAM Cell에 포함하여 브로드캐스팅한다.
- 2) Step 2 : Divided_slot Grant 메시지를 수신한 ONU들은 전송할 데이터가 있으면 해당 큐의 상태(요청할 Slot의 양)를 Minislot에 저장하고 이를 Divided_slot에 포함하여 OLT로 전송한다.
- 3) Step 3 : OLT는 Minislot의 정보를 분석하고 Slot 할당 알고리즘에 의해 Slot을 할당한 다음 Slot을 요청한 ONU에 Data Grant를 전송한다.

- 4) Step 4 : Data grant를 받은 ONU는 데이터를 전송한다.
- 5) Step 5 : Step 1부터 반복한다.

2. Slot 할당 알고리즘

OLT에서는 각각의 ONU들이 요청한 대역을 서비스 트래픽 클래스 별로 우선순위를 두어 대역을 할당해야하며, 모든 ONU들이 공정하게 대역을 할당받을 수 있도록 제어가 가능해야 한다.

이를 위해 서비스 트래픽 클래스는 CBR/rVBR, nrtVBR, UBR, ABR의 차례로 우선순위를 부여했고, ONU들 사이의 공정성을 보장하기 위해 OLT에 각 ONU에 해당하는 카운터를 두었다. 요청이 들어오면 해당하는 ONU의 카운터에 가중치를 증가시키고, 요청이 처리되면 카운터를 0으로 초기화하였다. OLT가 요청을 허가할 때는 전체 ONU에 해당하는 카운터를 비교하여 카운터가 높은 ONU부터 먼저 처리할 수 있도록 하였다. OLT에서 수행되는 세부 절차는 다음과 같다.

- 1) Step 1 : Minislot이 도착하면 요청한 ONU_ID를 확인하고 요청이 있는 ONU에 해당하는 카운터에 가중치를 증가시킨다.
- 2) Step 2 : 전체 ONU의 CBR/rVBR 큐 상태를 비교하여 요청이 가장 많은 순으로 해당 카운터에 가중치를 증가시킨다.
- 3) Step 3 : 전체 ONU의 nrtVBR 큐 상태를 비교하여 요청이 가장 많은 순으로 해당 카운터에 가중치를 증가시킨다.
- 4) Step 4 : 각 ONU의 nrtVBR 큐 상태와 바로 직전에 요청한 큐 상태를 비교하여 n배 이상이면 n만큼의 가중치를 증가시킨다.
- 5) Step 5 : 전체 ONU의 UBR 큐 상태를 비교하여 요청이 가장 많은 순으로 해당 카운터에 가중치를 증가시킨다.
- 6) Step 6 : 전체 ONU의 ABR 큐 상태를 비교하여 요청이 가장 많은 순으로 해당 카운터에 가중치를 증가시킨다.
- 7) Step 7 : 카운터가 가장 높은 ONU부터 먼저 slot을 할당하는데, slot을 할당할 때 각 ONU의 CBR/rVBR 큐의 요청을 먼저 할당하고 다음에 nrtVBR, UBR, ABR의 순으로 할당한다.
- 8) Step 8 : 요청이 전부 처리된 ONU의 카운터를 0으로 리셋 시킨다.

제시된 Slot 할당 알고리즘에서는 가중치를 부여할 때, 세 가지 factor에 의해 가중치를 부여한다.

첫 번째로 요청을 한 ONU와 요청을 하지 않은 ONU를 구분하여 요청을 한 ONU는 해당하는 카운터에 가중치를 (ONU 개수+1)을 증가시킨다. 두 번째로 nrtVBR에 해당하는 요청일 경우, 바로 직전에 요청한 양과 현재 요청한 양을 비교하여 n배수가 되면 해당하는 카운터에 가중치를 (ONU 개수+1)을 증가시킨다. 세 번째로 같은 traffic의 경우 많이 요청한 ONU 순으로 가중치를 부여한다. 예를 들어 현재 요청을 한 ONU가 모두 5개라면 제일 많이 요청한 ONU에는 해당 카운터에 5를 증가시키고, 그 다음 요청한 ONU의 해당 카운터에는 4, 그 다음은 3, 2, 1의 순으로 가중치를 증가시킨다.

첫 번째와 두 번째의 경우 가중치를 증가시킬 때 단순히 1을 증가시키는 것이 아니라, ONU 개수+1만큼을 증가시키는데 그 이유는 다음과 같다.

현재 요청을 했으나 grant를 받지 못한 ONU는 다음 번에 우선 순위가 다른 ONU보다 높아야 하는데 단순히 1만을 증가시키면 그렇게 되지 못하는 경우가 발생한다. 즉, fairness가 보장되지 않는 경우가 발생하는 것이다.

예를 들면 다음과 같다. ONU가 5개 있다고 가정하고 nrtVBR에 해당하는 요청만을 가정하자. <표 6>과 <표 7>은 카운터에 가중치를 부여할 때 단순히 1을 증가시킨 경우이다.

<표 6>에서 두 번째 행은 처음 5개의 ONU가 요청한 슬롯의 개수를 나타낸다. 각각 3개, 4개, 7개 5개 0개를 요청하였다. 세 번째 행부터 일곱 번째 행은 OLT의 카운터를 나타낸다. 세 번째 행은 초기 상태이다. 네 번째 행은 요청을 한 ONU를 파악해서 가중치를 증가시킨 것이다. 0개의 슬롯을 요청한 5번째 ONU를 제외하고 전부 가중치가 1씩 증가하였다. 다섯 번째 행은 이전 요청 량과 비교하여 가중치를 증가시킨 것이다. 이전 요청 량이 없으므로 카운터는 변화가 없다. 여섯 번째 행은 많이 요청한 순으로 가중치를 부여한 것이다. 가장 많은 요청을 한 3번 ONU에 5가 더해져서 6이 되고, 그 다음 4번 ONU에 해당하는 카운터에 4가 더해져서 5가 되고, 나머지도 같은 방법으로 카운터가 증가되었다. 마지막 7번째 행은 grant를 전송하고 난 후의 카운터 상태를 나타낸다. 가중치가 가장 많은 3번과 4번 ONU만 grant를 받아서 카운터가 0으로 리셋되었다.

표 6. 첫 번째 요청한 후 OLT 카운터의 내용

ONU ID	1	2	3	4	5
요청한 순서	3	4	7	5	0
3행 처리전(초기상태)	0	0	0	0	0
4행 요청을 했는가?(+1)	1	1	1	1	0
5행 이전과 비교(+n)	1	1	1	1	0
6행 많이 요청했는가?(+sort)	3	4	6	5	1
7행 처리후	3	4	0	0	1

<표 7>은 그 다음 번에 슬롯을 요청한 경우를 보여준다. 첫 번째 행과 두 번째 행은 <표 6>과 동일하다. 세 번째 행부터 일곱 번째 행은 OLT의 카운터를 나타낸다. 세 번째 행은 <표 6>에서의 결과 값을 가지고 있는 상태이다. 네 번째 행은 요청을 한 ONU를 파악해서 가중치를 증가시킨 것이다.

표 7. 두 번째 요청한 후 OLT 카운터의 내용

ONU ID	1	2	3	4	5
요청한 순서	6	10	13	11	7
3행 처리전(이전상태)	3	4	0	0	1
4행 요청을 했는가?(+1)	4	5	1	1	2
5행 이전과 비교(+n)	6	7	3	3	2
6행 많이 요청했는가?(+sort)	7	10	8	7	4
7행 처리후	7	0	0	7	4

5개의 ONU 모두가 1씩 증가하였다. 다섯 번째 행은 이전 요청량과 비교하여 가중치를 증가시킨 것이다. 5번 ONU를 제외하고 요청 량이 전부 2배 되었으므로, 5번 ONU를 제외한 카운터에 2를 증가시킨다. 여섯 번째 행은 많이 요청한 순으로 가중치를 부여한 것이다. 가장 많은 요청을 한 3번 ONU에 5가 더해져서 6이 되고, 그 다음 4번 ONU에 해당하는 카운터에 4가 더해져서 5가 되고, 나머지도 같은 방법으로 카운터가 증가되었다. 마지막 7번째 행은 grant를 전송하고 난 후의 카운터 상태를 나타낸다. 가중치가 가장 많은 2번과 3번 ONU만 grant를 받아서 카운터가 0으로 리셋 되었다. 여기서, 3번 ONU는 이전에 grant를 받았음에도 불구하고 다시 데이터를 전송할 수 있는 반면에 1번과 5번 ONU는 다시 또 대기해야 하는 상황이 발생한다. 이를 해결하기 위해 카운터를 증가시킬 때, 단 순히 1을 증가시키는 것이 아니라 (ONU 개수+1)을 증가시키는 것이다

3. Divided_slot Grant 전달 주기

OLT에서는 주기적으로 Divided_slot Grant를 전달하여 ONU에 있는 큐의 정보를 수집한다. 이때,

Divided_slot을 전달하는 주기를 결정하는 것이 중요하다, 이는 빠른 주기로 전달하면 ONU측에 발생하는 트래픽의 변화 패턴에 빠르게 적응할 수 있으므로 전송 지연 및 CDV(Cell Delay Variation)을 줄일 수 있는 이점이 있는 반면에 부가적인 오버헤드의 증가를 초래하고 결국 채널 용량을 효율적으로 사용할 수 없게 된다. 이러한 이유로 오버헤드를 최소화하면서 트래픽의 QoS를 만족시킬 수 있는 적절한 Trade-Off Point를 찾아야 한다.

CCITT(현재 ITU-T)에서는 ATM Cell의 크기를 지정할 때, 헤더와 Payload의 크기를 Cell 지연과 헤더 Overhead를 고려하여 48Byte로 지정하였다^[7]. 이와 유사하게 본 연구에서는 전체 대역과 전달 주기에 따라 전송되는 제어 데이터의 양을 비교하여 Divided_slot의 전달 주기를 0.5ms로 지정하였다.

<그림 7>에서 보는 바와 같이 Divided_slot Grant의 전달 주기가 빠를수록 ONU들의 큐에 있는 데이터가 빠른 시간 내에 모두 전송됨을 알 수 있다. 그러나 Divided_slot Grant의 전달 주기가 너무 빠르면 OLT에 overhead가 발생하므로 적절한 전달 주기의 선택이 필요하다.

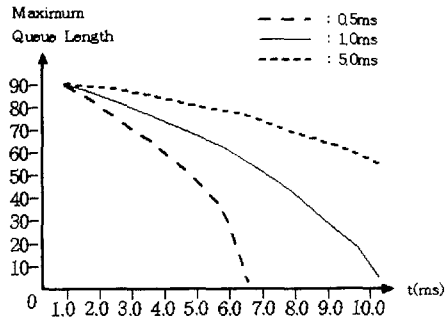


그림 7. Divided_slot Grant 전달 주기에 따른 ONU의 큐 상태

전달 주기가 0.5ms이고 전체 대역폭이 655.520 Mbps일 경우 아래 수식에서와 같이 하향 오버헤드는 7.3%이다. 하향 전송 효율을 고려해 볼 때 0.5ms 보다 빠른 주기는 적절한 선택이 아니라는 것을 알 수 있다.

$$\frac{53\text{byte} \times 56\text{slot} \times 8\text{bit} \div 0.0005\text{sec}}{622.080\text{Mbps}} \approx 0.073 \quad (1)$$

데이터를 전송하는 도중에 OLT는 주기적으로 ONU의 트래픽(CDV)을 측정하여 Divided_slot의 전달 주기를 동적으로 변경시킬 수 있다. 예를 들

어, OLT에 있는 각 ONU의 카운터 값이 Threshold를 넘어서면 Divided_slot의 전달 주기를 더 빠르게 하여 CDV의 수치를 떨어뜨릴 수 있다.

V. 시뮬레이션 및 성능 평가

1. 시뮬레이션 환경

이 장에서는 Lawrence Berkeley 국립 연구소에서 개발된 네트워크 시뮬레이터 NS-2(Network Simulator 2)를 이용하여 제안된 슬롯 할당 알고리즘을 평가하였다. 시뮬레이션은 다음과 같은 환경에서 실행되었다.

- 1) PC : Pentium III 800MHz, SDRAM 128M
- 2) OS : WOW Linux 7.0 까치 Release
- 3) Simulation Tools : Network Simulator-2 2.1b7

2. 시뮬레이션 과정 및 결과

2.1 시뮬레이션 과정

본 연구에서 제안하는 Request-Counter MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 NS-2를 이용하여 다음과 같이 Network를 구성하였고, Round-Robin 방식을 사용하는 일반적인 MAC 프로토콜과 비교 분석하였다.

- 1) 하나의 OLT가 32개의 ONU들을 제어
- 2) 상향 155.520Mbps, 하향 622.080Mbps의 대역폭
- 3) 각각의 ONU는 CBR/ π VBR, nrtVBR, UBR, ABR 트래픽을 저장하는 4개의 큐를 가짐
- 4) 각각의 큐에 CBR/ π VBR, nrtVBR, UBR, ABR 트래픽을 포아송 분포로 발생시킴
- 5) ONU의 큐에서 시간에 따른 CDV 측정

2.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 결과는 NS-2의 XGraph를 이용하여 그래프의 형태로 확인이 가능하다. XGraph가 제공하는 옵션을 사용하면 다양한 점과 선의 모양으로 시뮬레이션 결과를 표시할 수 있으며, 시뮬레이션 과정에서 만들어진 추적 파일로부터 원하는 노드 사이의 패킷 흐름을 선택하여 그래프로 표현하는 것이 가능하다

<그림 8>과 <그림 9>, <그림 10>은 시뮬레이션 결과를 보여준다. 결과에서 보는 바와 같이 제안된 Request-Counter MAC 알고리즘을 이용하였을 때의 CDV가 더 낮음을 알 수 있다. <그림 8>은 Round-Robin 방식을 사용했을 때 각 큐의 지연

시간을 나타낸 것이다. 큐의 종류에 상관없이 동일하게 지연 시간이 증가함을 알 수 있다. <그림 9>는 본 논문에서 제시한 Request-Counter 방식을 사용했을 때 측정값이다. ABR 트래픽의 큐 데이터는 Round-Robin 방식에 비해 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으나, 그 이외의 CBR/ π VBR, nrtVBR, UBR 트래픽에 해당하는 큐의 지연 시간은 거의 일정함을 알 수 있다.

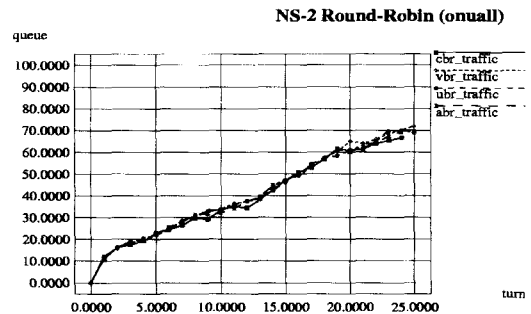


그림 8. 일반적인 MAC의 성능

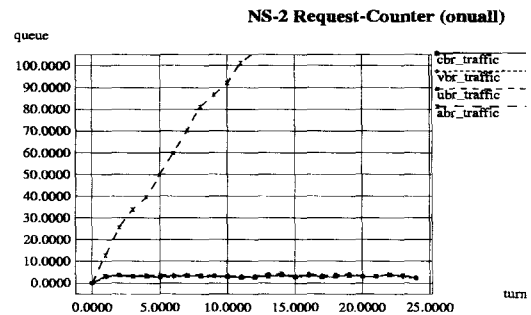


그림 9. 제안된 MAC의 성능

<그림 10>은 Request 기능이 없는 NSR-ONU (Non Status Reporting ONU)가 포함되어 있는 경우를 보여준다. NSR-ONU들은 Round-Robin 방식을 사용하고 SR-ONU들은 Request-Counter 방식을 사용하여 결과를 측정하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 ITU-T G.983.1을 기반으로 ATM-PON에서 동적 대역 할당이 가능한 Request-Counter MAC 프로토콜을 설계하였다. 각각의 ONU에 ATM 트래픽 클래스에 대응하는 4개의 큐를 이용하여 우선 순위를 부여하였고, 이를 이용하여 각종 멀티미디어 서비스의 QoS (Quality of

Service)를 보장할 수 있도록 설계하였다.

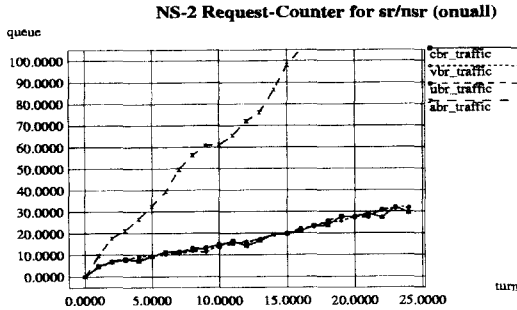


그림 10. SR/NSR-ONU를 지원하는 Proposed MAC 알고리즘

그리고 OLT에 각각의 ONU에 대응하는 카운터를 두어 특정 ONU의 트래픽 클래스가 계속 회선을 점유하는 현상을 방지하였다. 서비스 트래픽 클래스 별로 큐를 두어 다양한 서비스를 우선순위별로 처리할 수 있도록 설계하여 단일 큐를 가지는 매체 접근 제어 프로토콜에 비해 멀티미디어 서비스를 처리하는데 보다 효율적인 성능을 나타낼 것으로 기대된다. 차후에, 각각의 트래픽을 수학적으로 모델링하여 데이터를 발생시키고, 보다 정확한 결과를 얻는 것과 Ethernet-PON에 Request-Counter MAC 알고리즘을 적용시키는 것이 향후 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

[1] U. Killat, ed., "Access to B-ISDN via PONs; ATM Communication in Practice," John Wiley & Sons Ltd. and B.G. Teubner, 1996.
 [2] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)," October 1998.
 [3] ITU-T Recommendation G.983.2, "ONT management and control interface specification for ATM PON," April 2000.
 [4] F. Panken, C. Blondia, O. Casals, J. Garcia, "A MAC Protocol for APONs Supporting Different Service Categories," Proc. 15th ITC, Washington, USA, June 1997, Eds. V. Ramaswami and P.Wirth, Elsevier, Vol.2, pp.825-834.
 [5] Youngjin Moon, Changhwan Oh, Kiseon Kim, "A MAC Scheme Based on the Cell Arrival

Timing Information for Multimedia Services over ATM-Based PON," IEICE Trans. Commun., Vol.E82-B, No.10 October 1999.

[6] M. Miyabe, M. Kasa, K. Tajima, T. Shinomiya, and H. Yamashita, "A study of dynamic bandwidth allocations for ATM-PON," IEICE Trans. Communication, Vol.E81-B, No.12, pp.2364-2370, December 1998.
 [7] 장종욱, 이승희 공저, ATM-LAN, 아진출판사, 2000.9

장 성 호(Seong-ho Jang)

정회원

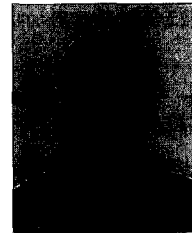


1999년 2월 : 동의대학교
 컴퓨터공학과 졸업
 2001년 2월 : 한국해양대학교
 컴퓨터공학과 공학석사
 2001년 3월~현재 : 동의대학교
 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심 분야> APON, EPON, 이동 MAC 프로토콜

장 종 욱(Jong-wook Jang)

종신회원



1987년 2월 : 부산대학교
 계산통계학과 졸업
 1987.2~1995.1 한국전자통신연구소(ETRI) 연구원
 1995년 2월 : 부산대학교
 컴퓨터공학과 공학박사

1999.1~2000.2 Univ. of Missouri at Kansas City, Post Doc. fellowship
 1995년 3월~현재 : 동의대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <주관심 분야> APON, EPON, Ad-hoc Network