

# ATM-PON에서의 G.983.1을 이용한 Dynamic MAC Protocol의 설계 및 성능평가

장 성 호<sup>†</sup> · 장 종 욱<sup>††</sup>

## 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 매체 접근 제어 프로토콜을 제시한다. 제안된 매체 접근 제어 프로토콜을 위해 G.983.1을 기반으로 하여 grant field 형식과 minislot 형식, 그리고 대역 할당 알고리즘을 제시하였다. 실험 결과 종래의 매체접근 제어 프로토콜 보다 더 나은 서비스 품질을 보장받을 수 있음을 확인할 수 있었다.

## Design and performance evaluation of G.983.1 based on Dynamic MAC Protocol for ATM-PON

Seong-Ho Jang<sup>†</sup> · Jong-Wook Jang<sup>††</sup>

## 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 MAC protocol for a broadband access network using an ATM Passive Optical Network supporting CBR/rtVBR, 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.

키워드 : 매체 접근 제어(MAC), ATM-PON, DBA

### 1. 서 론

90년대 초반부터 새롭게 제기된 맥내 광통신 서비스들의 빠른 확산은 액세스 망에 여러 형태의 하부 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 위해서는 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 공중통신망에서 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. 현재처럼 여전히 고비용의 FTTH(Fiber To The Home) 광대역망은 미래에도 전망이 밝지 않다. ATM 스위칭을 제공하고, 수동적인 광대역 구조에 기반을 둔 FTTH망은 시험 개발되어 왔고 표준화 중이다. 많은 표준들 중에서 공통된 규격

\* 본 연구는 한국학술진흥재단 2001년도 지방대학육성(2001-002-E00095) 지원으로 수행되었음.

† 준 회원 : 동의대학교 대학원 컴퓨터공학과

†† 종신회원 : 동의대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 2001년 8월 8일, 심사완료 : 2002년 6월 11일

및 표준화된 솔루션을 FSAN 포럼에서 정의하고 ITU-T에서 표준으로 권고한 사항이 G.983.1과 G.983.2이다.

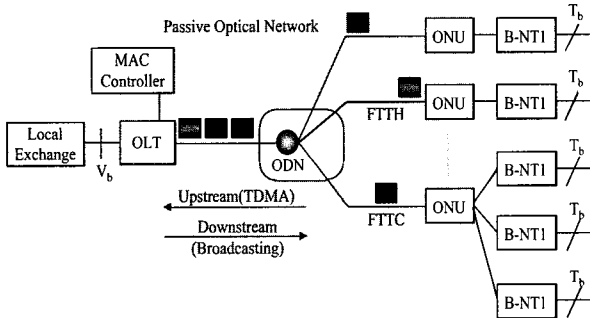
ATM-PON의 여러 요소 기술들 중 특히 전광 매체 접근 제어(MAC : Media Access Control) 프로토콜은 여러 가입자가 다양한 성질의 멀티미디어 서비스를 원하고 그리고 공동의 매체를 사용하는 PON(Passive Optical Network) 구조이기 때문에 더욱 중요하다. 다시 말하면, PON의 성능은 각 가입자가 충돌 없이 서비스를 사용할 수 있도록 시간 슬롯(time slot)을 적절하게 할당하는 매체 접근 제어 기술이 핵심이다. 그러나 매체 접근 제어 부분에서의 표준은 정해져 있지 않고 많은 다중 매체 접속 제어(MAC : Media Access Control) 프로토콜이 제시되고 있지만 대부분의 알고리즘들은 다양한 트래픽을 고려하지 못하는 약점이 있다. 따라서 본 연구에서는 G.983.1 표준을 응용하여 대역폭의 구조 및 서비스에 독립적이고 통신 망 접속에 효율적인 다중 매체 접근 제어 프로토콜을 설계하고 성능분석을 통하여 증명하고자 한다.

## 2. ATM-PON과 프레임의 구조

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

### 2.1 ATM-PON의 구조

ATM-PON 시스템은 (그림 1)과 같이 OLT(Optical Line Termination), ONUs(Optical Network Units), ODN(Optical Distribution Network) 3 종류의 서브시스템으로 구성된다[1]. 현재의 ATM-PON 구조는 ITU-T의 G.983.1에서 권고하는 바와 같이 가입자에서 기간망까지의 155.520Mbit/s 또는 622.080Mbit/s 상향 채널, 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 진행

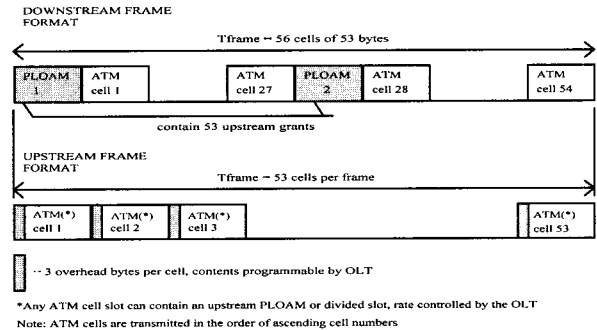
하였다. 각각의 ONU들은 ATM의 서비스에 따른 traffic class를 지원하기 위해 4개의 큐(queue)를 가진다. 4개의 큐에 해당하는 traffic class는 각각 CBR/rtVBR, nrtVBR, UBR, ABR이다[4-6].

### 2.2 프레임 구조

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

#### 2.2.1 상향 155.520Mbps 하향 155.520Mbps

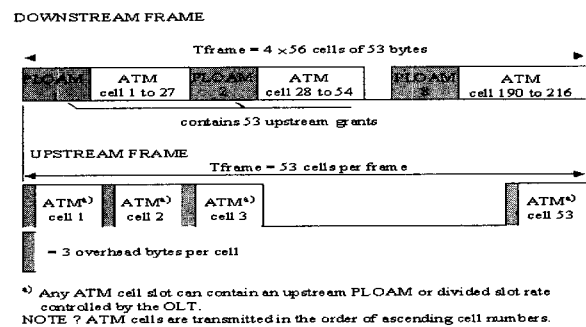
(그림 2)는 상향, 하향이 모두 155.520Mbps의 대역폭으로 구성될 경우의 프레임 구조를 보여준다. 상향 프레임은 53개의 slot으로 구성되어 있고, 각각의 slot은 3byte의 오버헤드(overhead)와 53byte의 ATM cell로 구성된다. 하향 프레임은 56개의 slot으로 구성되어 있다. 각각의 slot은 53byte의 ATM cell로 구성되어 있고, 매 28개의 slot마다 PLOAM (Physical Layer Operations, Administration and Maintenance) cell이 1개 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 구조 (155.520Mbps)

#### 2.2.2 상향 155.520Mbps 하향 622.080Mbps

(그림 3)은 상향 155.520Mbps, 하향 622.080Mbps일 경우의 프레임 구조를 보여준다.



(그림 3) 프레임 구조 (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.

2.3 Downstream PLOAM cell 구조

2.3.1 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

<표 2> 하향 PLOAM cell의 Payload 내용

payload byte	content	payload byte	content
1	IDENT	25	GRANT 20
2	SYNC 1	26	GRANT 21
3	SYNC 2	27	CRC
4	GRANT 1	28	GRANT 22
5	GRANT 2	29	GRANT 23
6	GRANT 3	30	GRANT 24
7	GRANT 4	31	GRANT 25
8	GRANT 5	32	GRANT 26
9	GRANT 6	33	GRANT 27
10	GRANT 7	34	CRC
11	CRC	35	MESSAGE_PON_ID
12	GRANT 8	36	MESSAGE_ID
13	GRANT 9	37	MESSAGE_FIELD 1
14	GRANT 10	38	MESSAGE_FIELD 2
15	GRANT 11	39	MESSAGE_FIELD 3
16	GRANT 12	40	MESSAGE_FIELD 4
17	GRANT 13	41	MESSAGE_FIELD 5
18	GRANT 14	42	MESSAGE_FIELD 6
19	CRC	43	MESSAGE_FIELD 7
20	GRANT 15	44	MESSAGE_FIELD 8
21	GRANT 16	45	MESSAGE_FIELD 9
22	GRANT 17	46	MESSAGE_FIELD 10
23	GRANT 18	47	CRC
24	GRANT 19	48	BIP

2.3.2 Downstream PLOAM Payload

<표 2>는 하향 PLOAM cell의 payload 내용을 보여준다. 3장에서 설명할 메시지들이 하향 PLOAM cell을 통해 OLT에서 ONU로 전달된다. 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.

3. 슬롯 할당을 위한 메시지 형태

ATM-PON에서는 상향과 하향 프레임의 PLOAM cell을 이용하여 ONUs와 OLT의 상호 의사소통과 제어가 가능하다. 이 장에서는 본 연구에서 제시한 매체 접근 제어 프로토콜에 사용되는 메시지들을 정의한다.

3.1 Grant 메시지 구조

OLT가 ONU들의 요구 조건을 허락하기 위해 사용하는 grant field는 전부 7개가 있다. <표 3>에서와 같이 G.983.1에서는 ranging grant, unassigned grant, idle grant의 3개 grant만 정의하고 있다.

이 장에서는 G.983.1에 정의되지 않은 4개의 grant 메시지 중에서 Divided\_slot grant와 Data grant를 정의하였다.

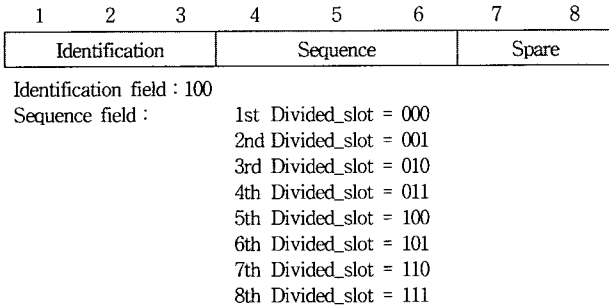
<표 3> G.983.1 표준에 정의된 grant의 종류

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)

3.1.1 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 ONUs에서 Divided\_slot을 수신함으로써 ONUs에서 필요한 대역을 수집한다. (그림 4)는 본 연구에서 정의한 Divided\_slot grant field의 구조이다.

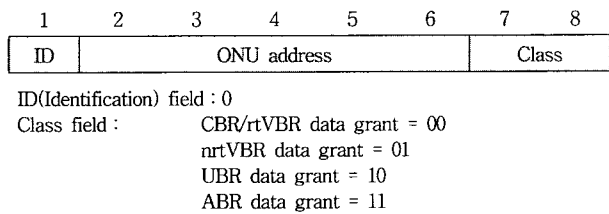
처음 3bit는 메시지 식별자이다. 다음의 3bit는 Divided\_slot의 순서를 지정하는데, 이것은 한 프레임당 최대 8개의 Divided\_slot을 전송할 수 있다는 것을 의미한다. 하나의 Divided\_slot은 4개의 minislot을 포함하고 있으므로, 한번에 최대 32개의 요청을 받아들일 수 있다.



(그림 4) Divided\_slot grant field 구조

### 3.1.2 Data grant

Data grant는 OLT가 ONU에게 데이터 전송을 허락할 때 사용하는 메시지이다. (그림 5)는 data grant field의 구조를 나타낸다.

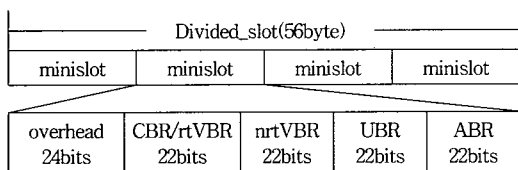


(그림 5) Data grant field 구조

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

### 3.2 Minislot 구조

각각의 ONU가 데이터 전송을 위한 slot을 요청하기 위해 사용하는 Divided\_slot은 4개의 minislot으로 구성된다. Divided\_slot과 minislot의 구조가 (그림 6)에 나타나있다.



(그림 6) Minislot의 구조

하나의 minislot은 112bit로 구성되어 있고, 각각 3byte의 overhead를 가진다. 그 다음 4개의 field는 각각의 ONU에

있는 큐의 상태를 서비스 traffic class별로 나타내는데, 각각의 field들은 22bit를 차지한다. 최대 622.080Mb의 데이터를 전송할 때 모두 1,638,017.71개의 slot이 필요하다. 이를 요청하기 위해서는 21bit( $2^{21} = 2,097,152$ 개 slot)의 길이가 필요하다. 하지만, 확장성을 고려하여 22bit로 설계하였다.

### 3.3 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>에서와 같이 Divided\_Slot\_Grant\_configuration message는 7 octet으로 구성되어 있다.

<표 4> Divided Slot Grant configuration 메시지

Divided_Slot_Grant_configuration message		
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 정의
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.

### 3.4 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.

<표 5> Grant\_allocation 메시지

Grant_allocation message		
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	

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.

#### 4. Slot 할당 순서와 알고리즘

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

##### 4.1 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.

- Step 1 : OLT가 주기적으로 전체 ONU에게 Divided\_slot grant를 하향 PLOAM cell에 포함하여 브로드캐스팅한다.
- 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.
- Step 3 : OLT는 minislot의 정보를 분석하고 slot 할당 알고리즘에 의해 slot을 할당한 다음 slot을 요청한 ONU에 Data grant를 전송한다.
- Step 4 : OLT는 잔여 대역폭을 측정하고, 다음에 전송할 Divided\_slot grant의 전송 주기를 결정한다.
- Step 5 : Data grant를 받은 ONU는 데이터를 전송한다.
- Step 6 : Step 1부터 반복한다.

##### 4.2 slot 할당 알고리즘

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

이를 위해 서비스 traffic class는 CBR/rtVBR, nrtVBR, UBR, ABR의 차례로 우선순위를 부여했고, ONU들의 fairness를 보장하기 위해 OLT에 각 ONU에 해당하는 카운터를 두었다. 요청이 들어오면 해당하는 ONU의 카운터에 가중치를 증가시키고, 요청이 처리되면 카운터를 0으로 초기

화하였다. OLT가 요청을 허가할 때는 전체 ONU에 해당하는 카운터를 비교하여 카운터가 높은 ONU부터 먼저 처리할 수 있도록 하였다. 세부 절차는 다음과 같다.

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

##### 4.3 Divided\_slot grant 전달 주기

OLT에서는 주기적으로 Divided\_slot grant를 전달하여 ONUs에 있는 큐의 정보를 수집한다. 이때, Divided\_slot을 전달하는 주기를 결정하는 것이 중요한데, 이는 빠른 주기로 전달하면 ONU측에 발생하는 traffic의 변화 패턴에 빠르게 적응할 수 있으므로 전송지연 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 페이로드의 크기를 셀 지연과 헤더 오버헤드를 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.

전달 주기가 0.5ms이고 전체 대역폭이 655.520Mbps일 경우 아래 수식에서와 같이 하향 오버헤드는 7.3%이다.

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

데이터를 전송하는 도중에 OLT는 주기적으로 ONU들의 traffic(CDV)을 측정하여 Divided\_slot의 전달 주기를 동적으로 변경시킬 수 있다. 예를 들어, OLT에 있는 각 ONU의 카운터 값이 threshold를 넘어서면 Divided\_slot의 전달 주기를 더 빠르게 하여 CDV의 수치를 떨어뜨릴 수 있다.

### 5. 시뮬레이션 및 성능 평가

#### 5.1 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.

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

#### 5.2 시뮬레이션 과정 및 결과

##### 5.2.1 시뮬레이션 과정

본 연구에서 제안하는 매체 접근 제어 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 NS-2를 이용하여 다음과 같이 Network를 구성하였고, Tcl/Tk를 이용하여 (그림 7)과 같이 나타내었다.

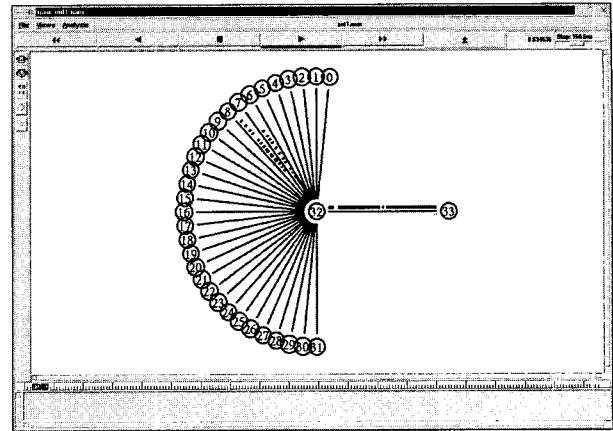
- 하나의 OLT가 32개의 ONU들을 제어
- 상향 155.520Mbps, 하향 622.080Mbps의 대역폭
- 각각의 ONU는 CBR/rtVBR, nrtVBR, UBR, ABR 트래픽을 저장하는 4개의 큐를 가짐
- 각각의 큐에 CBR/rtVBR, nrtVBR, UBR, ABR 트래픽을 랜덤하게 발생시킴
- Divided\_slot grant의 전달주기를 1ms, 2ms, 5ms로 각각 변경하여 ONU들의 큐 상태를 조사
- Round Robin을 사용하는 일반적인 MAC 알고리즘과 성능 비교

##### 5.2.2 시뮬레이션 결과

###### 5.2.2.1 Divided\_slot grant 전달 주기

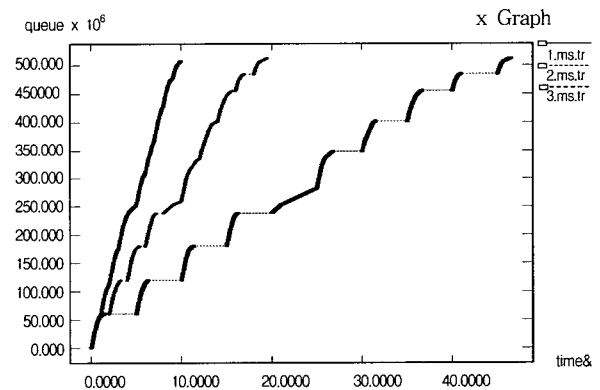
시뮬레이션의 결과는 NS-2의 XGraph를 이용하여 그래프의 형태로 확인이 가능하다. XGraph가 제공하는 옵션을 사용하면 다양한 점과 선의 모양으로 시뮬레이션 결과를 표시할 수 있으며, 시뮬레이션 과정에서 만들어진 추적 파일로부터 원하는 노드 사이의 패킷 흐름을 선택하여 그래

프로 표현하는 것이 가능하다.



(그림 7) NAM을 이용한 시뮬레이션

먼저 Divided\_slot 전달 주기를 각각 1ms, 2ms, 5ms로 변경하여 각각의 경우에 ONU의 큐에 있는 모든 데이터가 전송되는 시간을 측정하였다. (그림 8)은 Divided\_slot을 전달하는 주기를 측정한 것이다. 세로축은 큐에서 전송된 cell의 합을 나타내고 가로축은 시간의 흐름을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이, 전달 주기가 1ms일 경우 500개의 cell을 모두 전송하는데 걸린 시간이 10sec인데 반하여 5ms일 경우에는 약 50sec가 걸림을 알 수 있다.



(그림 8) Divided\_slot grant 메시지의 전달 주기

그림에서 보는 바와 같이 divided slot grant의 전달 주기가 빠를수록 ONU들의 큐에 있는 데이터가 빠른 시간 내에 모두 전송됨을 알 수 있으나 divided slot grant의 전달 주기가 너무 빠르면 OLT에 overhead가 발생하므로 적절한 전달 주기의 선택이 필요하다. 4.3절의 식 (1)을 참고하여 하향 대역폭의 사용 효율을 고려해 볼 때 0.5ms 보다 빠른 주기는 적절한 선택이 아니라는 것을 짐작할 수 있다.

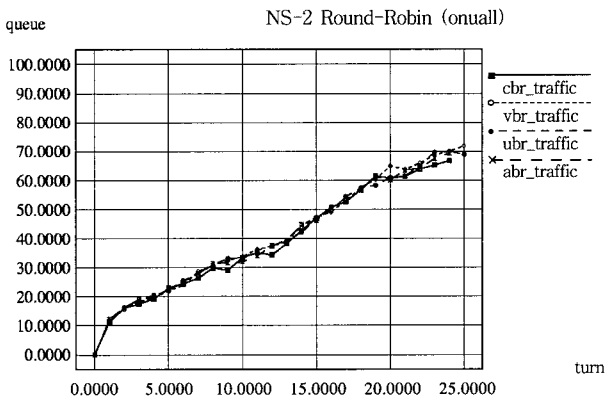
###### 5.2.2.2 대역 할당 알고리즘

다음으로, 본 연구에서 제시된 slot 할당 알고리즘을 사용하였을 경우와 일반적인 round robin 알고리즘을 사용하

였을 경우를 비교하여 각각의 경우 ONU의 queue 상태를 측정하였다. 전체 25번의 Data grant가 전송되며 Data grant를 수신한 ONU는 큐의 cell을 전송한다. Divided\_slot grant는 0.5ms 마다 전송된다. 데이터 전송이 이루어진 후 ONU의 각 큐 크기를 측정하였다.

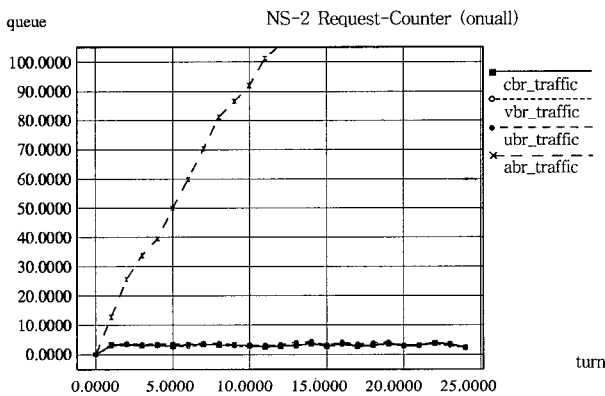
(그림 9)와 (그림 10)은 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안된 MAC 알고리즘을 이용하였을 때, 시간이 경과함에 따른 큐의 크기가 더 적음을 알 수 있다.

(그림 9)는 Round-Robin 방식을 사용했을 때 시간의 흐름에 따라 각 큐의 크기를 나타낸 것이다. 큐의 종류에 상관없이 동일하게 큐의 크기가 증가함을 알 수 있다.



(그림 9) General MAC Performance

(그림 10)은 본 논문에서 제시한 slot 할당 알고리즘을 사용했을 때의 측정값이다. ABR 트래픽의 큐 데이터는 Round-Robin 방식에 비해 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으나, 그 이외의 CBR/rtVBR, nrtVBR, UBR 트래픽에 해당하는 큐의 크기는 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이와 같이 CBR/rtVBR과 nrtVBR에 해당하는 큐에서 요청된 셀들을 먼저 처리함으로써 멀티미디어 데이터나 인터넷 트래픽의 QoS(Quality of Service)가 보장될 수 있도록 대역할당 알고리즘을 제시하였다.



(그림 10) Proposed MAC Performance

6. 결 론

본 연구에서는 ITU-T G.983.1을 기반으로 ATM-PON에서 동적 대역 할당이 가능한 매체 접근 제어 프로토콜을 설계하였다. 각각의 ONU에 ATM traffic class에 대응하는 4개의 큐를 이용하여 우선 순위를 부여하였고, 이를 이용하여 각종 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장할 수 있도록 설계하였다. 실험 결과, 기존의 ATM-PON에서 사용되고 있는 Round-Robin 방식과의 비교, 분석을 통하여 본 논문에서 제시된 알고리즘이 더 나은 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다.

특히, OLT에 각각의 ONU에 대응하는 카운터를 두어 특정 ONU의 traffic class가 계속 회선을 점유하는 현상을 방지하였다. 그리고 멀티미디어 서비스에 해당하는 CBR/rtVBR 큐의 정보를 먼저 처리할 수 있도록 설계하여 단일 큐를 가지는 매체 접근 제어 프로토콜에 비해 멀티미디어 서비스를 처리하는데 보다 효율적인 성능을 나타낼 것으로 기대된다. 또한 인터넷 트래픽과 같은 nrtVBR 서비스인 경우 이전에 요청된 slot의 수를 비교하여 갑자기 많은 대역을 요청할 경우 해당 ONU의 요청이 먼저 처리되게 하였다.

차후에, 각각의 트래픽을 수학적으로 모델링하여 데이터를 발생시키고, 전달 시간을 측정하여 보다 정확한 결과를 얻는 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, Eds. V. Ramaswami and P.Wirth, Elsevier, Vol.2, pp.825-834, June, 1997.
- [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.



**장 성 호**

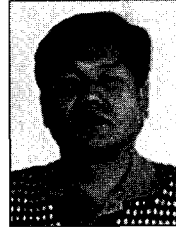
e-mail : jsh1031@netian.com

1999년 동의대학교 컴퓨터공학과 졸업  
(학사)

2001년 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공  
학과 졸업(공학석사)

2001년~현재 동의대학교 대학원 컴퓨터  
공학과 박사과정 재학 중

관심분야 : APON, EPON, 이동 MAC 프로토콜



**장 종 욱**

e-mail : jwjang@dongeui.ac.kr

1987년 부산대학교 대학원 계산통계학과  
졸업(공학석사)

1987년~1995년 한국전자통신연구소(ETRI)  
연구원

1995년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과  
졸업(공학박사)

1995년~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 부교수

2000년 Univ. of Missouri at Kansas City, Post Doc. fellowship

관심분야 : APON, EPON, 이동 MAC 프로토콜