

APON에서 멀티미디어 전송을 위한 효율적인 MAC 프로토콜

정희원 은 지숙*, 이호숙*, 윤현정**, 소원호*, 김영천***

An Efficient MAC Protocol for Supporting Multimedia Services in APON

Ho-Sook Lee*, Hyun-Jung Yun**, Won-Ho So*, Young-Chon Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 트리 구조의 가입자망인 APON(ATM over Passive Optical Network) 에서 멀티미디어 정보를 보다 효율적으로 제공하기 위한 매체 접근 제어 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 사용자 측에서 발생한 원래의 트래픽 패턴을 손상시키지 않으면서 상향 데이터 흐름을 효과적으로 다중화할 수 있도록 하고, ATM 트래픽 클래스별 전송 품질(QoS)의 특성을 반영하였다. 이를 위하여 먼저 요구-허락형 전송 구조에서 다양한 요구 방식에 따른 성능을 분석하여, 각 트래픽 클래스에 적합한 요구 방식을 설정하고, 오버헤드를 최소화할 수 있는 전송 프레임 구조를 제안하였다. 또한 OLT의 셀 허락 분배 과정에서 ATM 클래스별로 자기 다른 우선 순위를 주어 셀 전송에 대한 허락을 스케줄링 한다. 제안한 허락 분배 알고리즘은 전송 지연과 CDV에 엄격한 성능을 요구하는 CBR/VBR 트래픽에 우선적으로 허락을 분배하고, ABR 트래픽은 최소 셀 전송률(MCR)을 보장하면서 이용 가능한 대역폭을 동적으로 사용하도록 하였으며, UBR 트래픽은 가장 낮은 우선 순위를 가지고 남은 대역을 사용하게 된다. 따라서 트래픽 속성을 변화시키지 않고 ATM 셀의 전달이 가능하여 멀티미디어 전송에 있어 전송 품질(QoS)을 만족시킬 수 있다. 제안한 프로토콜에 대한 성능 평가를 위하여 평균 전송 지연 시간 및 CDV(Cell Delay Variation)등의 관점에서 시뮬레이션을 실시하고 성능 평가 결과를 기술하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the MAC protocol of APON supporting multi-class traffic such as CBR/VBR, ABR, UBR, to guarantee the required QoS of each service. For this, we analyze the performance of various request mechanisms and employ the different request mechanism for each traffic classes. Upstream and downstream frame structures to minimize transmission overhead are proposed based on our request mechanism. The proposed MAC protocol applies the different priority to permit distribution process. CBR/VBR traffic, with the stringent requirements on CDV or delay, is allocated prior to any other class. ABR traffic, which has non-strict CDV or delay criteria, uses flexibly the available bandwidth but ensures a minimum cell rate (MCR). UBR traffic is allocated with lowest priority for the remaining capacity. The performance of proposed protocol is evaluated in terms of transfer delay and 1-point CDV with various offered load. The result of simulation shows that the proposed protocol guarantees the required QoS of the corresponding category, while making use of the available resources in both an efficient and dynamical way.

* 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망 연구실(jseun@networks.chonbuk.ac.kr)

** 한국전자통신연구원(hjyun@etri.re.kr)

*** 전북대학교 정보통신연구소(yckim@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 99214-0528, 접수일자 : 1999년 5월 28일

I. 서론

고속 기간망과 사용자 사이에서 정보 전달 역할을 수행하는 광 가입자망 구축을 위한 구조로 최근 PON (Passive Optical Network)에 대한 관심이 고조되고 있다. PON은 여러 가입자간의 신호를 커플링하여 다중화된 신호를 고속 기간망에 전달함으로써 가입자들이 효율적으로 기간망에 접근할 수 있도록 하는 가입자 전달망(subscriber delivery network) 구조이다.^[1-3] PON은 수동분배기(Passive Splitter)를 사용하여 다수의 ONU(Optical Network Unit)를 트리 형태의 물리적 토폴로지로 연결하므로 전-광(electro-optic) 신호의 변환 없이 전송이 가능하여 FTTC(Fibre to the Curb)나 FTTH(Fibre to the Home)에 적합한 구현 방식으로 제시되고 있다. ATM 을 표준 전송 모드로 사용하는 B-ISDN의 액세스 망으로서 PON은 ATM 셀들을 수용하기 위한 전송 구조인 APON(ATM over PON) 형태로 구성된다.^[1,3]

APON에서 정보의 전송은 ATM 셀에 액세스망 오버헤드가 추가된 정보 슬롯을 단위로 하여 TDMA 방식으로 이루어진다. 트리 구조의 물리적 특성으로 인해 기간망의 ATM 교환기로부터 PON으로 들어오는 하향 데이터 스트림은 모든 슬롯이 NT(Network Termination)에 방송되고 각 NT는 자신에 해당하는 슬롯만을 흡수하는 형태로 전송된다. 반면 가입자로부터의 정보 흐름을 기간망에 전달하기 위한 상향 채널은 다수의 가입자들이 하나의 OLT(Optical Line Termination)로 정보를 전송하기 위해 공유되므로 가입자간의 셀 전송을 중재하고 효율적으로 채널을 액세스 할 수 있는 매체 접근 제어(MAC ; Medium Access Control) 프로토콜이 요구된다.^[5-7] APON은 전달망이므로 각 NT에서 발생한 셀들은 가능하면 발생된 트래픽 패턴을 유지하면서 일정한 전송 지연 시간을 가지고 기간망에 전달되어야 한다. 따라서 APON MAC 프로토콜은 상향 채널에서 다중화된 ATM 셀들의 전송 지연 변이를 최소화 할 수 있도록 설계되어야 한다.^[7,8] 또한 APON에서 효율적으로 멀티미디어 정보를 전송하기 위해서는 ATM 트래픽 유형별 특성을 고려한 계층적 매체 접근 제어(MAC : Medium Access Control) 프로토콜이 필요하다.

본 논문에서는 ATM 기반 광 가입자망에서 멀티클래스 트래픽의 효율적인 전송을 위한 매체 접근

제어 프로토콜을 제안하였다. 먼저 OLT와 각 B-NT1(Broadband NT 1) 사이의 셀 전송을 위해 요구허락 기반의 프로토콜을 채택하고 다양한 요구 방식에 따른 성능을 평가하여 비교·분석하였다. 분석 결과를 기반으로 전송 오버헤드를 최소화하고 ATM 각 트래픽 유형별 전송 품질(QoS ; Quality of Service) 보장을 위한 요구 방식을 설정하여 이에 적합한 전송 프레임 구조와 셀 허락 분배 알고리즘을 제안하였다. 제안된 셀 허락 분배 알고리즘은 트래픽 유형별로 전송에 우선 순위를 두어 트래픽 속성을 변화시키지 않고 QoS를 만족시키면서 ATM 셀의 전달이 가능하도록 한다. 전송 지연 및 CDV(Cell Delay Variation)에 엄격한 성능을 요구하는 CBR(Constant Bit rate)/VBR(Variable Bit rate) 트래픽에 대해 우선적으로 전송을 허락하고 ABR(Avaliable Bit rate) 트래픽에 대해서는 최소 셀 전송률을 보장하도록 하며, 여분 대역폭은 UBR(Unspecified Bit rate)에 할당하여 채널 이용률을 향상시킬 수 있도록 하였다.

본 논문은 6장으로 구성되었다. 2장에서 APON 구조를 설명하고, 3장에서 요구 허락형 전송 구조에서 요구 방식에 따른 성능 평가를 실시하고, 이를 근거로 4장에서 효율적인 멀티미디어 서비스 제공을 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 5장에서는 제안한 프로토콜에 대해 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고, 6장에서 결론을 맺었다.

II. APON구조

APON 시스템은 OLT(Optical Line Termination), ONU(Optical Network Unit), ODN(Optical Distribution Network) 3종류의 서브시스템으로 구성된다. OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 가입자들로부터의 데이터 흐름을 집중화시키고, 기간망에서 가입자망에 들어오는 데이터를 분배하는 역할을 수행한다. 따라서 OLT내 MAC 제어기는 상향 채널을 이용하고자 하는 각 B-NT1에게 공평하고 효율적으로 채널을 분배하여야 한다. ODN은 ONU와 OLT사이에 위치하며, 광신호의 분배를 위한 수동 분배기를 사용하여 트리 토폴로지의 PON 구조를 형성한다. ONU는 각 가입자를 연결하는 B-NT1과 가입자망을 연결시키는 개체이다. 현재의 광소자 기술에서 ODN의 광분기율은 1:32 로 구현되며, OLT에서 ONU까지의 최대 거리는 10Km 이내로 한정된다.^[1-3]

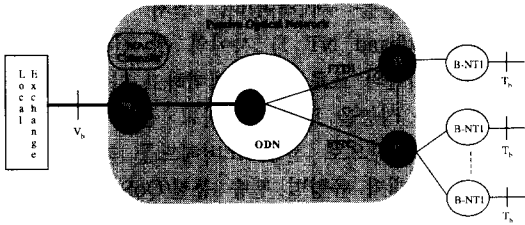


그림 1. APON의 시스템 구성

APON을 위한 가입자망 구조는 그림 1과 같다. 가입자망은 FTTH(fiber to the home)와 FTTC(fiber to the curb)인 경우를 고려하였는데, FTTC인 경우에는 하나의 ONU를 최대 8개의 B-NT1이 공유할 수 있으며, FTTH의 경우 B-NT1 하나가 연결된다. 각 NT(Network Termination)는 ATM 셀의 전송을 위해 155.520 Mbps(STM-1 in SDH)의 전송속도를 갖는 Tb인터페이스를 통해 사용자에게 연결되는데, 이 속도 내에서 각 ONU에 동적으로 대역폭이 할당된다. 기간망과 가입자망사이의 Vb인터페이스는 622.080 Mbps (STM-4 in SDH)의 전송 속도를 갖는다.^[1-3]

III. APON을 위한 매체 접근 제어 프로토콜

3.1 요구/허락형 전송 구조

트리 구조의 APON에서 데이터의 전송은 ATM 셀에 액세스망 오버헤드가 추가된 슬롯 단위의 TDMA 방식으로 이루어진다. 기간망에서 하향 채널을 통해 가입자 측에 전송되는 하향 TDM 슬롯은 모든 ONU로 방송되는 형태이므로 따로 매체 접근 제어를 요구하지 않는다. 반면 사용자 측의 정보 전송을 위한 상향 채널은 다수의 가입자로부터의 데이터 슬롯이 하나의 OLT로 충돌 없이 다중화되어야 하므로, 상향 채널 액세스를 위한 MAC 프로토콜이 요구된다. 효율적인 MAC 프로토콜은 오버헤드를 줄임으로써 주어진 채널 용량에서 정보 전송 대역을 최대화 할 수 있도록 상/하향 전송 프레임이 정의되고, ATM 트래픽 특성을 고려한 대역폭 할당 및 전송 슬롯의 스케줄링 알고리즘이 제공되어야 한다. 특히 APON은 원래의 트래픽 속성을 되도록 유지하면서 가입자로부터 발생한 데이터 스트림을 기간망에 전달하기 위한 액세스망이므로 상향 채널의 다중화를 위한 MAC 프로토콜은 전송하는 셀들의 전송 지연 시간 및 전송 지연 변이(CDV)를 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다.

APON을 위한 MAC에서는 상향 TDM 슬롯의 동적 할당을 위하여 예약 방식에 기반한 요구/허락형 전송 방식을 사용한다. 그림 2는 요구/허락 과정에서 OLT와 B-NT1사이의 요구/허락(Request/Permit) 정보의 흐름을 나타내고 있다.

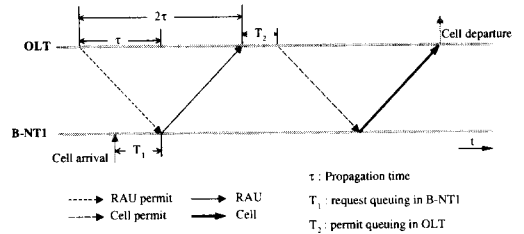


그림 2. 요구/허락 정보 흐름도

모든 상향 슬롯의 전송은 MAC 제어 기능을 가진 OLT로부터 하향 채널을 통해 허락 정보를 받으므로 이루어진다. 정보 전송을 원하는 NT는 발생한 셀의 개수 또는 현재 대기중인 전송큐의 길이 등을 내용으로 하는 요구 정보를 OLT에 전송한다. 요구 정보는 OLT로부터 주기적, 또는 여분 대역을 통해 허락되는 RAU(Request Access Unit) 슬롯을 통해 전송되거나 각 NT에서 OLT로 전송하는 정보 슬롯 내의 MAC 필드 부분에 전송된다. OLT에 요구 정보가 도착하면 MAC 제어기는 수신된 요구 정보를 기반으로 허락 분배 알고리즘을 수행하여 상향 데이터 슬롯에 대한 허락 정보를 동적으로 할당한다. 할당된 허락 정보는 큐에 저장되고, 하향 데이터 슬롯의 MAC 필드 부분에 순차적으로 포함되어 전송의 허락을 알린다. 전과 지연 시간 후에 모든 NT가 하향 슬롯 정보를 수신하면 셀 전송에 대한 허락을 받은 NT만이 바로 다음 상향 슬롯에 셀을 전송함으로써 충돌없이 동적인 TDMA 슬롯 액세스가 이루어진다. 셀의 발생으로부터 전송이 완료되기까지의 전송 지연 시간은 그림 2와 같이 요구 슬롯 및 허락 정보의 전송과 데이터 슬롯의 전송에 필요한 전과 지연 시간(3τ), 셀 발생 후 요구까지의 대기 시간(T_1) 및 허락 분배 과정 후 하향 채널을 통해 허락 정보가 전송되기까지의 대기 시간(T_2)으로 구성된다.

3.2 요구 방식별 성능평가

전송 허락을 요구하기 위해 각 NT가 요구 정보를 전송하는 방식에 따라 상/하향 프레임의 구조가 결정되며, 전체 시스템의 성능도 변하게 된다. 요구

정보를 자주 전송할수록 NT 측에 발생하는 트래픽의 변화 패턴에 빠르게 적응할 수 있으므로 전송 지연 및 CDV를 줄일 수 있다. 그러나 잦은 요구 정보의 전송은 추가적인 오버헤드를 증가시킴으로써 채널 용량을 감소시킨다. 따라서 전송 프레임의 오버헤드를 최소화하면서 트래픽의 QoS를 만족시킬 수 있는 요구 방식이 필요하다. 본 논문에서는 요구-허락형 APON MAC 프로토콜에서 요구 정보를 전송하는 시점과 전송 방법에 따라 요구 방식을 다음과 같은 몇가지 유형으로 구분하고 성능 평가 및 분석을 실시하였다.

- **Periodic polling** : OLT에서 각 B-NT1에 주기적으로 RAU 슬롯의 전송을 허락하는 polling 개념의 요구 방식이다. RAU 슬롯은 다수개의 NT에 대한 요구 정보를 통합한 형태로, OLT는 Round-Robin 방식으로 요구 정보가 전송될 NT 그룹을 지정한다. 따라서 각 NT가 요구 정보를 전송하기 위해서는 자신의 RAU 슬롯 전송 주기만큼을 기다려야 한다.
- **Idle polling** : OLT에서 하향 채널을 통해 전송될 정보 슬롯이 없을 경우 RAU 슬롯에 대한 허락을 전송함으로써 요구 정보를 요청하는 polling 방법이다. 채널의 Idle 구간을 이용해 요구 정보를 전송하므로 시스템 이용률은 높일 수 있으나, 입력 부하가 증가하면 Idle 구간이 줄어들어 각 NT가 요구 정보를 보내기 위해 기다리는 시간이 무한해진다.
- **Cell coupled requests** : 따로 요구 정보 전송을 위한 전용 RAU 슬롯을 사용하지 않고, 상향 채널을 통해 전송하는 자신의 정보 슬롯 안에 MAC 필드를 두어 요구 정보를 추가하는 방식이다. 이 방법은 트래픽 양이 폭주하는 NT에 대해서는 전송 지연을 줄여줄 수 있지만, 프레임 오버헤드가 커지고 처음 전송을 시도하는 B-NT1의 경우 요구 정보를 전송할 기회를 갖지 못하게 된다. 이를 극복하고 트래픽의 변화에 더욱 빨리 대응할 수 있도록 하기 위해서는 Periodic polling이나 Idle polling과 함께 사용되어야 한다.

따라서 실제 MAC에서 이용되는 요구 방식은 위 방법들의 조합에 따라 PPC(Periodic Polling with Cell Coupled Requests), PPN(Periodic with non-Cell Coupled Requests), IPC(Idle Polling with Cell Coupled Requests), IPN(Idle Polling with non-Cell Coupled Requests)으로 구분되며, 각 요구

방식은 그림 3과 같은 프레임 구조를 형성한다.

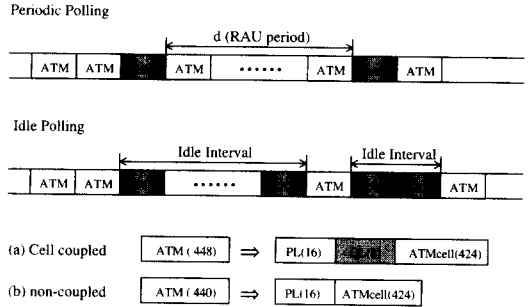


그림 3. 요구 방식별 상향 프레임 구조

위의 네 가지 요구 방식별 성능 평가를 위해 구성한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

- **APON 구조** : 32개의 B-NT1을 가지는 FTTH형
- **각 ONU당 최대 전송 속도** : 155.040Mbps
- **ONU에서 OLT 까지 전파 지연 시간** : 100.204μs
- **정보 슬롯 전송 속도** : 2 Mbps
- **RAU 슬롯 전송 주기** : 18 슬롯, 32 슬롯

성능 평가를 위해 정보 슬롯에 대한 전송 지연과 OLT의 Vb인터페이스에서 CDV분포를 상보분포 (Complementary distribution : $Pr\{X>x\}$)를 통해 표시하였다.

먼저, 망 부하(traffic load= ρ)에 따른 각 요구 방식별 평균 전송 지연 특성을 그림 4에 도시하였다.

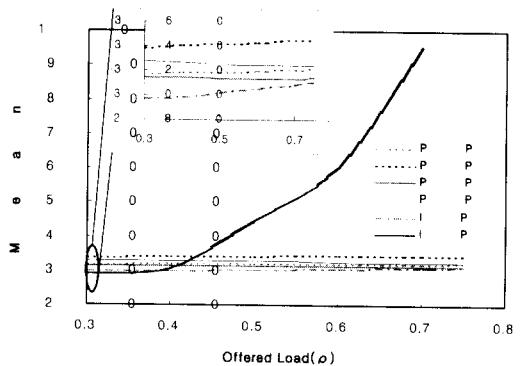


그림 4. 요구 방식에 따른 평균 전송 지연 시간

그림에서 보는 바와 같이 주기적 요구 방식인 Periodic polling은 망 부하에 관계없이 일정한 전송 지연을 유지하고 있지만, IPN의 경우 망 부하가 적

으면 낮은 지연을 갖고 부하가 증가하면서 지연도 급격히 증가함을 알 수 있다. 제시된 요구 방식들 중에서는 IPC와 요구 주기 18 슬롯인 PPC 방법이 가장 적은 평균 전송 지연 특성을 나타내고 있다.

그림 5와 그림 6은 망 부하가 $\rho = 0.3$ 일 때와 $\rho = 0.7$ 일 때, 각 요구 방식별 CDV 성능을 보인 그래프이다. IPC 방법은 망 부하가 0.3인 경우 적은 CDV 값을 갖지만 부하가 0.7정도로 증가하면 CDV가 급격히 증가함을 알 수 있다. 반면, PPC와 PPN의 경우는 망 부하에 관계없이 안정된 모습을 보이고 있고, PPC는 PPN 보다 약 $10\mu s$ 정도로 작은 차이지만 더 좋은 성능을 나타내고 있다. 그러나 요구 주기 측면에서 보면, PPC는 주기 32보다는 18인 경우 PPN보다 약 $20\sim 40\mu s$ 정도 차이로 더 좋은 CDV 성능을 나타내고 있다.

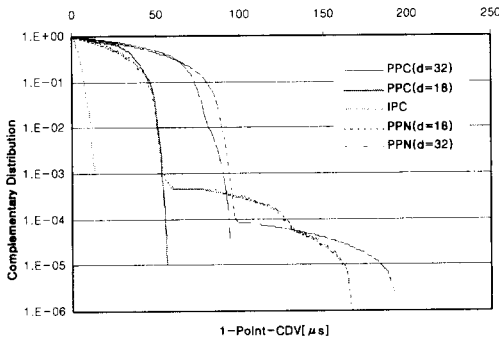


그림 5. 요구 방식에 따른 CDV성능($\rho = 0.3$)

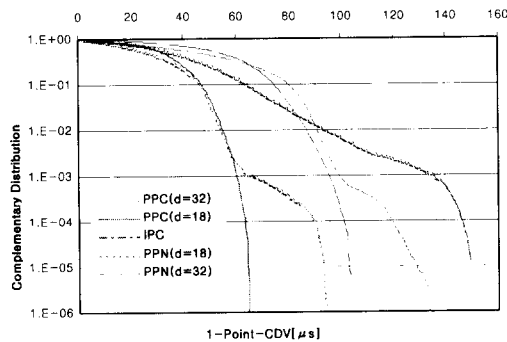


그림 6. 요구 방식에 따른 CDV성능($\rho = 0.7$)

Idle polling 방식은 요구 정보 전송을 위한 망의 대역폭 낭비가 심하며, 망 부하에 따라 CDV 및 평균 전송 지연 시간 측면에서 성능의 변화가 심하다.

주기적 요구 정보 전송 방식 중 PPC는 망 상황에 관계없이 안정된 성능을 보이며, 트래픽의 급격한 변화에 빠르게 적응하므로 CDV 측면에서 가장 좋은 성능을 보인다. 그러나 상향 슬롯마다 요구 정보 전송을 위한 부가적인 오버헤드가 발생하므로 프레임의 크기가 커지는 단점이 있다. 반면 PPN 방식은 PPC에 비해 CDV 성능은 다소 떨어지나 정보 슬롯에 따라 요구 필드를 포함하지 않으므로 프레임 오버헤드가 줄어들게 되며 비교적 안정적인 전송 특성을 보인다.

IV. 멀티미디어 서비스를 위한 MAC 프로토콜 설계

ATM 망에서는 효율적인 멀티미디어 전송을 위해 각 서비스의 전송 특성에 따라 CBR, VBR, ABR, UBR 등의 다양한 트래픽 형태를 지정한다.^[4] ATM 망에서 전송되는 트래픽 유형 및 특성은 표 1과 같다.

표 1. ATM 트래픽 유형별 성능 기준

Service Category	Traffic Description	Guarantee		
		CLR	CTD/CDV	BW
CBR	PCR	○	○	○
rt-VBR	PCR, SCR, MBS	○	○	○
nrt-VBR	PCR, SCR, MBS	○	×	○
ABR	PCR, MCR+ behavior parameter	○	×	○
UBR	(PCR)	×	×	×

PCR : Peak cell rate,
 SCR : Sustainable cell rate,
 CLR : Cell loss rate,
 CTD : Cell Transfer Delay,
 MBS : Maximum burst size,
 MCR : Minimum cell rate,
 CDV : Cell Delay Variation

이처럼 ATM 트래픽 유형별로 요구되는 성능 파라미터가 다르기 때문에 각 유형별 QoS를 고려한 APON-MAC 프로토콜이 제안되어야 한다.

4.1 프레임 구조

본 논문에서는 ATM 서비스 클래스별 트래픽 특성을 고려한 APON MAC 프로토콜을 제안하였다. 먼저 오버헤드를 최소화하면서 멀티클래스 트래픽의 전송을 요구하기 위한 상/하향 전송 프레임 구조를 정의하였다. 전송 지연 및 CDV에 엄격한 성능을 요구하는 CBR/VBR에 대해서는 트래픽의 변화에 빠른 대응을 요구하게 되므로 앞 절의 성능 분석

결과에서 가장 안정한 성능을 보인 PPC 방식을 채택하였다. 반면 상대적으로 전송 지연에 둔감한 ABR과 UBR에 대해서는 PPN 방식을 채택하여 전송 프레임의 전체 오버헤드를 줄일 수 있도록 하였다.

멀티클래스 트래픽의 전송 요구를 위한 상향 TDMA 프레임 구조는 그림 7과 같다. 상향 정보 슬롯은 ATM셀과 물리적 전송 동기를 위한 프리앰블(Preamble), 그리고 CBR/VBR의 요구 정보를 나타내는 QL-1, QL-2로 구성된다. 각 B-NT1은 CBR, VBR, ABR, UBR 트래픽에 대한 네 종류의 로컬 대기큐를 운영하며 ATM 슬롯 안의 QL-1, QL-2는 각각 CBR, VBR셀에 대한 큐의 길이를 나타낸다. B-NT1은 6 bits의 요구 정보를 사용함으로써 트래픽 유형별로 최대 64 개의 셀에 대한 전송을 요구할 수 있다. 이는 $27136(64 \times 53 \times 8 = 27136 \text{bits})$ 에 해당하며, 각 NT의 요구 주기를 $125\mu \text{s}$ 라고 가정했을 때 $217.088(27136 \text{ bits}/125\mu \text{ s})$ Mbps의 전송 속도를 수용한다. 따라서 광 가입자망에서 Tb 인터페이스의 최대 전송 속도를 155Mbps로 가정할 때 6 bits의 요구 정보는 각 트래픽의 최대 전송 속도를 수용할 수 있다. 주기적으로 전송되는 RAU 슬롯은 8개의 B-NT1에 대한 요구 정보를 통합한 형태이며, 같은 길이(56 bits)를 갖는 8개의 미니 요구 슬롯으로 구성된다. 하나의 요구 슬롯은 물리 계층 프리앰블(17 bits), ATM 트래픽 클래스별 6 bits의 요구 정보(24 bits), 오류 검출 코드(7 bits)로 구성된다. 제안된 상향 프레임 구조는 기존 방식^[5]에 비

해 프레임 오버헤드가 약 2.4%(41/465 - 29/453) 감소되었고, 전체 프레임의 길이도 작아졌다.

하향 프레임은 그림 7의 아래 부분과 같이 453 bits의 슬롯으로 구성되며 각 슬롯을 통해 B-NT1의 전송 요구에 대한 허락 정보를 전송한다. 각 슬롯은 물리계층 프리앰블(17 bits), 허락된 셀의 종류를 표시하는 PT(Permit Type) 필드(3 bits), 전송할 B-NT1의 주소(7 bits), 하향 ATM 셀로 구성된다. PT 필드는 RAU(PT=0), CBR 셀(PT=1), VBR 셀(PT=2), ABR 셀(PT=3), UBR 셀(PT=4)에 대한 허락 정보를 각각 나타내고, ATM 셀에 대한 허락을 수신한 B-NT1에서는 해당 트래픽의 셀을 상향 채널을 통해 전송할 수 있게 된다. 하향 프레임에서도 상향 프레임 길이의 감소와 더불어 여분 필드(Spare)가 12(14-2)bits 감소됨으로써 그에 따른 오버헤드와 전체 프레임의 길이도 [5]에 비해 줄었다.

4.2 트래픽 유형별 허락 분배 알고리즘

제안된 프로토콜은 ATM 트래픽 유형별로 각기 다른 우선 순위를 두어 셀 전송에 대한 허락을 분배함으로써 서비스 클래스별로 계층적인 MAC 프로토콜을 적용한다. 먼저 CBR/VBR 트래픽에 대해서는 최소 전송 지연을 가짐과 동시에 전송 지연 시간을 일정하게 유지하여 수신 지점에서의 CDV를 최소화하는데 목적을 둔다. 따라서 사용자 측에서 원래 발생한 셀의 트래픽 패턴에 가깝게 다중화된 상향 트래픽 흐름을 구성할 수 있도록 한다. ABR은 트래픽 속성상 CDV 성능에 큰 영향을 받지 않으나 평균 전송 지연 시간을 줄이고, 제한된 시간 안에 전송이 이루어질 수 있도록 MCR-타이머를 두어 최소 셀 전송률을 보장할 수 있도록 한다. UBR은 주기적 예약방식을 사용하여 처리율을 향상시키는데 목적을 두었다.

트래픽 유형별 허락 분배 알고리즘은 다음과 같다. 앞서 기술한 상향 프레임을 통해 전송된 요구 정보에 대해 OLT는 각 서비스 클래스별 QoS를 만족시키기 위하여 입력되는 셀 트래픽의 우선 순위(CBR/VBR>ABR>UBR)에 따라 허락 정보를 동적으로 할당한다. 따라서, 전송 지연 및 CDV에 대해 가장 엄격한 성능 기준을 가지는 CBR/VBR이 가장 우선적으로 허락이 분배되고, ABR 트래픽은 그 다음 우선 순위를 두어 허락 정보를 전송한다. 즉, CBR/VBR 전송이 모두 할당되어 CBR/VBR 요구 정보큐가 비었을 경우에 ABR에 대한 허락이 분배된다. 그러나 최소 전송률을 보장하기 위해서 MCR

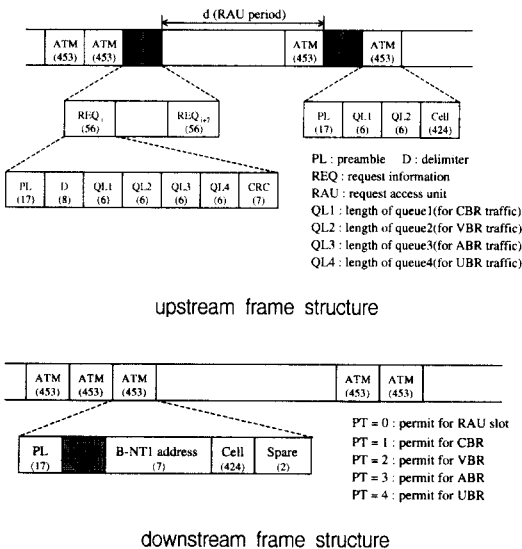


그림 7. 상/하향 채널의 프레임 구조

값에 의해 미리 설정된 타이머가 만기되었을 때, ABR에 대한 허락 분배가 이루어지도록 하였다. 이때, MCR-타이머 값은 다음과 같이 설정된다.

$$MCR_i = PCR_i/2$$

- i : the number of ABR Connections
- MCR_i : the value of MCR-Timer for i 'th ABR Connection
- PCR_i : the value of Peak Cell Rate for i 'th ABR Connection

예를 들어, MCR 값이 m 인 경우에는 ABR 트래픽에 대한 허락은 m 슬롯마다 하나씩 분배된다. ABR 트래픽에 대한 허락이 허락 저장 큐에 삽입될 때마다 MCR-타이머 값은 초기값 m 으로 다시 설정된다. 마지막으로 UBR은 트래픽 유형 중 가장 낮은 우선 순위를 가지고 서비스되므로, 허락 정보 큐가 비었을 경우에만 허락을 분배한다.

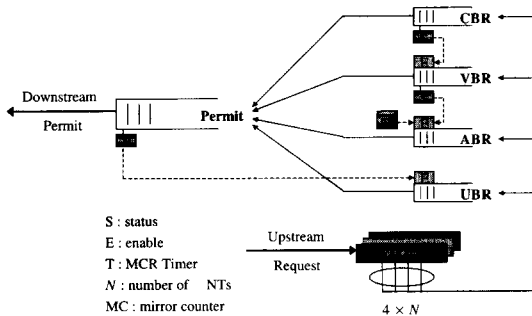


그림 8. OLT에서의 매체 접근 제어 모델

허락 정보 분배를 위한 OLT에서의 MAC 모델을 그림 8에 나타내었다. OLT는 사용자 측과 OLT 측의 모든 요구와 허락 정보를 일치시키기 위하여 미리 카운터(Mirror Counter)를 두고, 미리 전송된 요구 정보 카운터 값과의 차이를 이용하여 각 NT에 새로 도착한 셀의 개수를 계산한다. MAC 제어기는 계산된 셀 수만큼 허락을 발생하여 해당 트래픽의 허락 저장큐(CBR/VBR, ABR, UBR 큐)에 저장한다.

OLT에 도착한 요구 중 CBR/VBR은 전송 지연 및 CDV에 대해 가장 엄격한 성능 기준을 가지므로, 가장 우선적으로 FIFO 방식에 따라 허락 정보를 허락 정보 큐(Permit Queue)에 저장하고, CBR/VBR 큐의 상태 비트 S(Status)를 검사하여 큐가 빈 경우 ABR 허락 정보를 저장한다. 또한 ABR은 MCR-타이머(T)를 두어 최소 전송 지연을 보장할 수 있도록 한다. UBR은 트래픽 유형 중 가장

낮은 우선 순위를 가지고 서비스되며, 허락 정보 저장큐의 상태 비트(S)에 따라 UBR 전송이 Enable 된다. 즉, 허락 정보 저장큐가 비었을 경우에만 허락이 발생한다. 하향 채널은 매 타임슬롯마다 ATM 셀과 허락 정보 저장 큐의 허락 정보를 해당 NT로 전송하게 된다.

V. 성능평가 및 분석

본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜의 성능 평가를 위해 C-언어를 이용하여 시뮬레이터를 구축하였다. 시뮬레이터 구성을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- APON의 구조 : 32개의 B-NT1을 가지는 FTTH형
- 상/하향 채널 용량 : 622.080Mbps
- 각 ONU 당 최대 전송 속도 : 155.520Mbps
- RAU 주기(d) : 18슬롯
- 전파 지연 시간 : 100.204 μ s

시뮬레이션은 CBR과 VBR 트래픽 속성을 모델링 하기 위하여 다음과 같은 두 가지 트래픽 모델을 사용하였다. 먼저 CBR 트래픽은 일정한 주기를 가지고 셀을 발생시키는 고정 셀 물 모델을 통해 구현하였다. 구현한 CBR 모델은 지수 분포함수에 의해 새로운 호가 발생되어 포이송 분포 함수에 의해 결정된 호 지속 시간 동안 트래픽이 발생하는 특징을 가진다. 불규칙하고 변화가 심한 VBR 트래픽 소스를 위해서는 On-Off 트래픽 모델^[1]을 사용하였다. VBR보다 더 불규칙하고 변화가 심하며 버스트성이 큰 ABR역시 On-Off모델을 사용하였다. On-Off 트래픽의 특성은 평균 비트율(MBR) 과 최고 비트율(PBR)로 정의되며, On 상태 동안에는 최고 비트율로 셀이 발생되고 Off 상태 동안에는 셀이 발생되지 않는 버스트성을 가진다. On 상태와 Off 상태의 지속 시간은 지수 분포에 의해 결정된다. UBR 트래픽은 Poisson 발생률을 가진다. 제안한 프로토콜의 성능을 분석을 위한 시뮬레이션 트래픽 환경은 표 2와 같다.

성능 평가 기준으로서 CBR/VBR 의 전송 지연 특성과 OLT의 V_b인터페이스에서 측정된 1-point CDV의 분포를 상보 분포(Complementary Distribution)을 통해 나타내었다.

전송 지연 시간(Cell Transfer Delay)은 T_b 인터페이스에 셀이 도착해서 OLT에 전송을 요구하고 허락을 분배받아 상향 채널을 통해 전송을 하기까지

표 2. 시뮬레이션을 위한 트래픽 환경

Traffic	CBR / VBR(on-off)	ABR (on-off)	UBR
PBR	CBR (2Mbps+10Mbps) VBR(50Mbps)	50 Mbps	Poisson process
MBR	CBR (2Mbps+10Mbps) VBR(5Mbps)	5 Mbps	
Intensity	50%	40%	10%

지의 시간차를 말한다. 또한 한 지점에서 협상된 PCR을 기준으로 한 셀 도착 시간의 변이를 1-Point CDV라고 하고, OLT의 V_b 인터페이스에서 CDV를 측정하였다. 1-point CDV는 PCR을 기준으로 하여 셀 간 전송 간격, $T = 1/PCR$ 로 하고 k 지점에서 셀의 실제 도착 시간을 a_k , 셀의 도착 참조 시점을 c_k 라고 하였을 때 c_k 와 a_k 의 차이로서 구해진다. 셀의 도착 참조 시점은 다음과 같다.

$$\begin{cases} c_0 = a_0 \\ c_{k+1} = a_k + T & \text{if } c_k < a_k \\ c_{k+1} = c_k + T & \text{if } c_k \geq a_k \end{cases}$$

이 때 k 지점에서의 1-point CDV, y_k 는 다음과 같다.

$$y_k = c_k - a_k$$

그림 9와 10은 망 부하(traffic load= ρ)를 0.3에서 0.8까지 변화시키면서 CBR과 VBR 트래픽의 CDV 분포를 측정한 그래프이다. 망 부하가 변하더라도 CBR 트래픽은 일정한 전송 지연 분포를 가지므로 CDV 변화가 크지 않음을 알 수 있으며, 이는 CBR 트래픽이 원래 발생한 트래픽 패턴을 유지하면서 전송됨을 의미한다. 높은 밀집성을 갖는 VBR

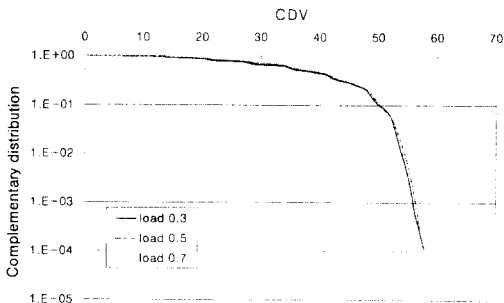


그림 9. 망 부하에 따른 CBR 트래픽의 CDV 성능

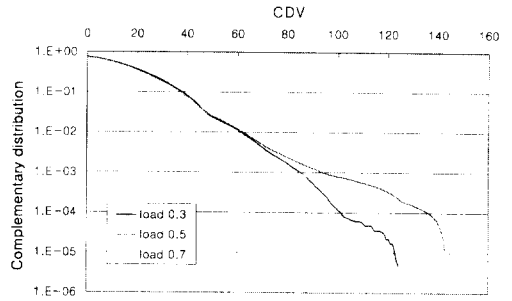


그림 10. 망 부하에 따른 VBR 트래픽의 CDV 성능

은 망 부하가 커짐에 따라 CDV 변화가 크지만 최대 $207\mu s$ 이하로 수신측에서 CDV 보상 버퍼를 사용하여 보상할 수 있다.

그림 11은 망 부하에 따른 ABR 트래픽에 대한 CDV 분포를 측정된 그래프이다. ABR 트래픽은 전송 지연에 엄격한 성능 기준을 두지는 않으나 제한된 시간 안에 전송 될 것을 요구한다. 따라서 CBR이나 VBR에 비해 비교적 큰 전송 지연 시간을 가지며, CDV 분포 역시 망 부하에 따라 민감한 영향을 받고 있다.

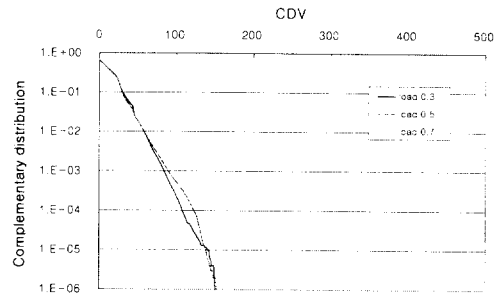


그림 11. 망 부하에 따른 ABR 트래픽의 CDV 성능

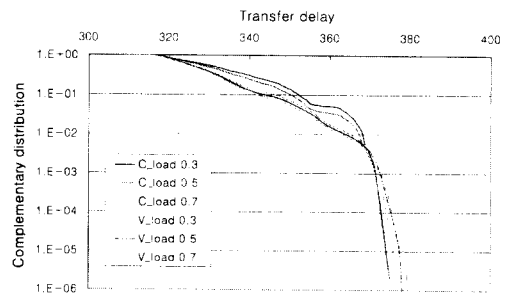


그림 12. 망 부하에 따른 CBR/VBR트래픽의 전송 지연 분포

그림 12는 망 부하에 따른 전송 지연 분포를 보

인 것이다. CBR/VBR 트래픽은 망 부하가 변하더라도 밀집된 전송 지연 분포를 보임을 알 수 있으며 이는 원래 발생한 트래픽 패턴을 손상시키지 않고 전송이 이루어짐을 나타낸다. 이에 비해 ABR 트래픽은 망의 부하가 증가할수록 전송 지연 분포의 변이가 커짐을 볼 수 있다.

마지막으로 그림 13은 각 트래픽 유형별 평균 전송 지연 특성을 보인 그래프이다. 그림에서처럼 엄격한 전송 지연 및 CDV 성능을 요구하는 CBR/VBR 트래픽은 망 부하에 관계없이 일정한 전송 지연 시간을 가지고 서비스됨을 알 수 있으며, ABR 트래픽은 적은 망 부하에서는 안정된 전송 지연 시간을 보이나, 망의 부하가 큰 경우 전송 지연도 선형적으로 증가한다. 가장 낮은 우선 순위를 가지고 서비스되는 UBR 트래픽은 망의 부하가 커질수록 평균 전송 지연 시간도 큰 폭으로 증가함을 볼 수 있었다.

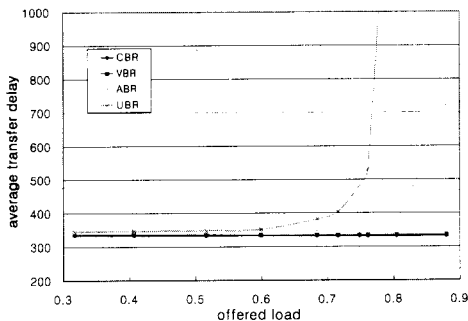


그림 13. 각 트래픽 유형별 평균 전송 지연 시간

VI. 결론

본 논문에서는 APON에서 ATM 멀티클래스 트래픽 특성을 고려한 효율적인 MAC 프로토콜을 제안하였다. 이를 위하여 먼저 요구/허락형 전송 구조에서 다양한 요구 방식에 따른 성능을 분석하고, ATM의 다양한 트래픽 특성을 효율적으로 제공할 수 있는 요구 방식을 설계하였다. CBR/VBR에 대해서는 평균 지연 시간이나 CDV 측면에서 더 좋은 성능을 보이는 PPC 방식을 적용하고, ABR, UBR에 대해서는 PPN 방식을 채택하여 프레임 오버헤드를 줄였다. 또한 제안된 MAC 프로토콜을 위하여 트래픽 유형별로 각기 다른 우선 순위를 고려한 허락 분배 알고리즘을 설계하였다. CBR/VBR 트래픽에 대해서는 가장 높은 우선 순위로 허락 정보가

할당되도록 하였으며, ABR 트래픽에 대해서는 MCR-타이머를 운영하여 최소 셀 전송율을 보장하면서 제한된 전송 지연 시간 안에 서비스 될 수 있도록 하고, RAU 슬롯을 이용한 예약을 통해 UBR 트래픽 서비스를 제공하여 여분 대역폭의 이용률을 증가시켰다. 제안한 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가한 결과 CBR 트래픽은 망 부하가 증가하더라도 60 μ s 미만의 CDV 분포를 나타내고 있으며, 평균 지연 시간도 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 높은 밀집성을 갖는 VBR은 최대 CDV는 207 μ s 이하로, CBR 트래픽 보다 큰 변화폭을 갖으나 이는 수신측에서 버퍼를 사용하여 보상할 수 있다. ABR 트래픽에 대해서는 MCR을 보장하고 서비스율을 증가시켰으며, 남은 대역을 UBR 서비스에 제공함으로써 망 이용률을 높일 수 있었다.

참고 문헌

- [1] U. Killat, editor. "Access to B-ISDN via PONs; ATM Communication in Practices". John Wiley & Sons Ltd & B.G. Teubner, 1996.
- [2] Babul Miah and Laurie Cuthbert, "An Economic ATM Passive Optical Networks," IEEE Comm. Magazine, pp.62-68, March 1997.
- [3] Ingrid Van de Voorde and Gert Van der Plas, "Full Service Optical Access Networks: ATM Transport on Passive Optical Networks," IEEE Comm. Magazine, pp.70-75, April 1997.
- [4] ITU-T Recommendation I.356. "B-ISDN ATM Layer Cell Transfer Performance," 1995.
- [5] F. Panken, C. Blondia, O. Casals, J. Garcia, "A MAC Protocol for ATM PONs Supporting Different Service Categories," ITC15, pp.825-834, 1997.
- [6] H.S.Lee, Akihiro Fujii, Y.C.Kim, "Window-based Permit Distribution Scheme for ATM PON," Technical Report of IEICE, pp.19-24, 1998. 7.
- [7] Frans J.M. Panken, "Performance Analysis of the Global FIFO MAC Protocol for APONs, Leading to Suggestions for Improvements," IEEE ICCS/ISPACS'96, pp.31-35, 1996.
- [8] Joachim Charzinski, "Performance Analysis of

a Multiple Access Mechanism for ATM Access Network," Int'l. Teletraffic Congress, pp.447-485, June 1997.

은 지 숙(Jee-Sook Eun)

학생회원



1998년 2월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (학사)

1998년 8월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정

이 호 숙(Ho-Sook Lee)

정회원



1994년 2월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (학사)

1996년 2월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (석사)

1996년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

윤 현 정(Hyun-Jung Yun)

정회원

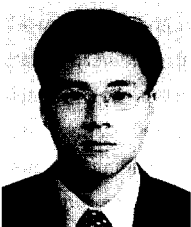
1997년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 (학사)

1999년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 (석사)

1996년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원

소 원 호(Won-Ho So)

정회원



1996년 2월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (학사)

1998년 2월 : 전북대학교 컴퓨터 공학과 (석사)

1998년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

김 영 천(Young-Chon Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조

현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수