DBpia

OPNET을 이용한 Ethernet-PON 시스템 구현 및 성능 평가

정회원 안 계 현*, 한 경 은*, 박 혁 규*, 노 선 식**, 김 영 천***

Implementation and Performance Evaluation of Ethernet-PON System using OPNET

Kye-Hyun Ahn*, Kyeong-Eun Han*, Hyuk-Gyu Bark*, Sun-Sik Roh**, Young-Chon Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 최근 효율적이고 경제적인 초고속 광가입자망 기술로서 부각된 Ethernet-PON 시스템을 위한 시뮬레이션 모델을 OPNET을 이용하여 구현한다. 설계한 Ethernet-PON 시스템은 IEEE 802.3ah EFM을 기반으로 요청/허가 TDMA MAC 프로토콜을 사용하며 제어 패킷들의 교환을 통해 등록, 레인징, 동적 대역 할당 등의 기능을 수행한다. 시뮬레이션 모델을 사용하여 초기 등록 절차에서의 성공률과 나중 등록을 위한 지연에 관한 결과를 분석하였다. 또한 사용자의 요구 대역 정보를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 Dynamic TDMA 프로토콜과 사용자의 요구에 관계없이 동등한 대역을 할당하는 Static TDMA 프로토콜의 성능을 채널 이용률 및 큐잉 지연 관점에서 비교하였다. 본 논문에서 구현한 시뮬레이터는 Ethernet-PON 시스템의 설계 과정에서 논의될 수 있는 여러 기술 사항들에 대한 적절한 선택 기준을 모의 실험을 통해 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : Ethernet-PON system; MAC protocol; Passive optical network.

ABSTRACT

In this paper, we develope the simulation model for Ethernet passive optical networks (Ethernet-PON) by using OPNET. Ethernet-PON is an emerging access network technology that provides a low-cost method of deploying optical access lines. The simulator uses a Request/Grant TDMA MAC protocol based on IEEE 802.3ah EFM. It also executes registration, ranging and dynamic bandwidth allocation algorithm by exchanging control packets between OLT and ONUs. We have evaluated for success ratio of initial registration process and delay of late registration process. We also have simulated for dynamic TDMA protocol and static TDMA protocol in terms of channel utilization and queueing delay. We expect that this simulator can help to determine various parameters which are considered for designing Ethernet-PON system.

Ⅰ. 서 론

통신망은 고속·대용량의 통합된 정보를 전송하기 위한 기간망과 사용자 측의 정보를 기간망에 전달하기 위한 가입자망으로 계층화되어 구성된다. 가입자망의 구성형태로 xDSL (x Digital Subscriber Line), HFC (Hybrid Fiber Coax), FTTH (Fiber To The Home) 등의 다양한 망 구조와 진화 방안들이

* 전북대학교 컴퓨터공학과 (khyun@networks.chonbuk.ac.kr), ** 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 (ssroh@hosim.gwangju.ac.kr)
*** 전북대학교 정보통신연구소 (yckim@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 020425-1004, 접수일자 : 2002년 10월 8일
※ 본 연구는 (주)삼성전자 지원으로 수행되었습니다.

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

제시되고 있다.

PON (Passive Optical Network)은 하나의 플랫폼에서 FTTx를 통합하여 궁극적인 가입자망의 형태인 FTTH까지 지원하므로 차세대 광가입자 전송기술로 중요한 의미를 지닌다. 또한 전자적 혹은 광전 장치가 추가되지 않는 광 네트워크로 전력공급이 필요 없어 전력의 결함에 영향을 받지 않고, 전자기 간섭에도 민감하지 않으며 유지보수 비용이 적게 드는 장점이 있다. 특히 인터넷 사용자의 증가로 인해 인터넷 트래픽의 비중이 커지므로 이더넷 프레임 구조를 활용하는 Ethernet-PON이 크게 주목받고 있으며 데이터 중심의 광 가입자망 구축에 경제적인 해결책이 될 수 있을 것으로 판단된다 [1-7].

Ethernet-PON은 AllOptic, Passave, World Wide Packet과 같은 신흥 회사를 중심으로 IEEE 802.3 EFM (Ethernet in the First Mile) Task Force에서 활발히 논의 중이며, 2003년 9월 표준화를 목표로 하고 있다.

Ethernet-PON은 OLT (Optical Line Terminator), ODN (Optical Distribution Network), ONU (Optical Network Unit)의 서브 시스템으로 나뉜다. ODN은 ONU와 OLT 사이에 위치하며 트리 구조를 갖는다. 단일의 OLT가 다수의 ONU에게 전송하는 하향 데이터는 분배기를 통하여 가입자들에게 방송되며, 각 ONU는 패킷 내의 어드레스 정보로 자신의 데이터를 받아들인다. 상향 링크에서는 다수의 ONU들이 OLT에게 데이터를 전송하기 위하여 망 자원을 공유한다. 따라서 공유하는 망 자원을 중재하기 위한 MAC (Mediaum Access Protocol) 프로토콜이 필요하다. Ethernet-PON 시스템을 위한 MAC 프로토콜로서 Static TDMA, Dynamic TDMA, Interleaved Polling 기법 등을 고려할 수 있다 [1,4-6].

본 논문에서는 IEEE 803.3 EFM을 기반으로 Dynamic TDMA MAC 프로토콜을 사용하는 Ethernet-PON 시스템을 OPNET을 사용하여 설계하였다. 이를 위하여 시스템 구조 및 프레임 구조, 제어 패킷을 정의하고 등록, 레인징, 동적 대역 할당을 수행하는 알고리즘을 설계하였다. 또한 구현한 시뮬레이션 모델을 사용하여 초기 등록 과정에서의 등록 성공률과 나중 등록을 위한 지연에 관한 성능을 평가하고, 사용자의 대역 요구량을 고려하여 가변적으로 대역을 할당하는 Dynamic TDMA MAC 프로토콜과 요구량에 관계없이 모든 ONU에게 일정한 전송 대역을 할당하는 Static TDMA MAC 프로토콜에 관한 성능을 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

먼저 Ethernet-PON 시스템 특징 및 구조에 대하여 기술하고, Ⅲ장에서는 앞서 언급한 시스템 구조를 기반으로 네트워크 모델을 설계하고 프레임 구조와 제어 패킷 구조를 정의한다. 또한 등록, 레인징, 동적 대역 할당을 수행하는 알고리즘을 설계한다. Ⅳ장에서는 구현한 시뮬레이터를 사용하여 초기 등록 성공률, 나중 등록을 위한 지연을 평가하고 Dynamic TDMA와 Static TDMA MAC 프로토콜의 채널 이용률, 큐잉 지연에 관한 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. Ethernet-PON 구조

Ethernet-PON 시스템은 하나의 OLT와 다수의 ONU, 그리고 ODN으로 구성된다. OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 다수개의 ONU와 연결되어 가입자 망에 위치한 모든 가입자들에게 정보를 제공하기 위한 중심적인 역할을 수행한다.

ONU는 가입자 망의 종단에 위치하며, 다수의 사용자 또는 단일의 사용자에게 서비스를 제공한다. OLT와 ONU는 수동 분배기의 역할을 하는 ODN으로 연결된다. ODN은 1:N spliter와 N:1 combiner로 구성된다. Ethernet-PON 시스템은 일반적으로 1:16, 1:32, 1:64의 광 분기율을 고려하며, 광 분기율에 따라 단일 OLT에 연결되는 ONU의 수가 결정된다. OLT와 ONU의 전송 링크는 서로 다른 파장을 사용함으로써 상·하향 링크를 구성한다.

상·하향 링크는 각각 1Gbps 전송률을 가지며 이를 통해 가변 길이의 이더넷 프레임을 전송한다. OLT에서 ONU까지의 거리는 최대 20Km 이내로 제한한다.

그림 1은 Ethernet-PON에서 Ethernet 프레임의 상·하향 전송을 나타낸다. 하향 전송에서는 Ethernet 프레임들이 분배기를 경유하여 ONU에게 방송(broadcast)된다. 이때 각각의 ONU들은 자신의 MAC 주소와 일치한 프레임만을 수신한다. 상향 전송에서는 다수의 ONU들이 공유된 망 자원을 통해 상향 프레임을 전송한다.

상향 채널은 다수의 ONU들이 공유하고 있으므로, 데이터 전송을 위해 공유 자원의 사용 권한을 얻기 위한 매체 접근 제어 방식이 필요하다. 일반적으로 Ethernet에서 CSMA/CD 방식을 사용하지만 OLT에서 ONU 또는 ONU에서 OLT로 데이터가

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

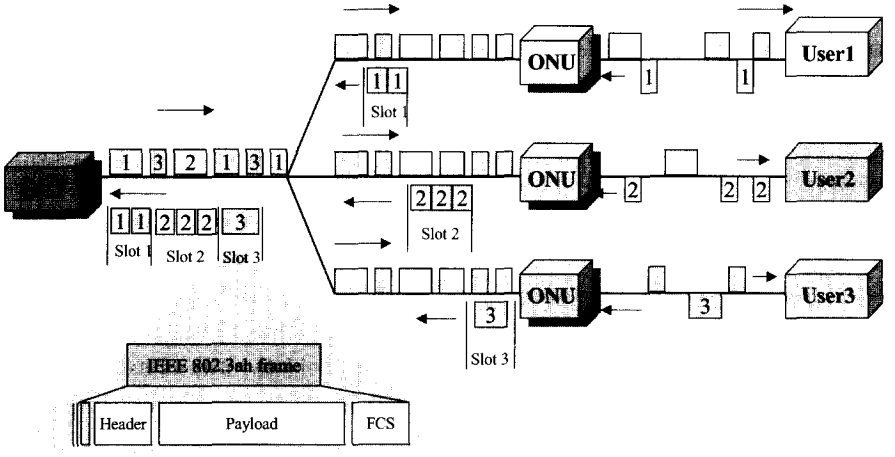


그림 1. Ethernet-PON에서 상·하향 전송

단방향으로 전송되는 Ethernet-PON 구조에는 적합하지 않으며, 초고속의 Ethernet-PON에서는 CSMA/CD 방식보다 망 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 MAC 프로토콜이 요구된다. 따라서 Ethernet-PON 구조에서는 상·하향 채널에 대한 모든 전송 권한을 OLT에서 할당하는 중앙 집중식 제어 방식을 사용한다. 이를 위해 고려할 수 있는 MAC 프로토콜로서 Static TDMA, Dynamic TDMA, Interleaved Polling 등이 있다.

Static TDMA와 Dynamic TDMA는 고정된 크기를 갖는 프레임을 기반으로 데이터 전송이 이루어지는 방법이다. Static TDMA는 매 프레임마다 단일 ONU가 전송할 수 있는 대역이 고정되어 있다. 추가적인 제어 정보 전달을 위한 별도의 대역을 요구하지 않으므로 최대 데이터 전송률을 제공할 수 있다. 그러나 ONU간 전송 요구 대역이 항상 일정하게 유지되지 않으므로, 전송할 데이터가 적은 ONU는 할당받은 대역 중에서 사용하지 않는 대역을 가질 수 있는 반면, 동시에 전송할 데이터가 많은 ONU는 전송할 대역이 부족하여 패킷을 지연시키는 경우가 발생한다. 특히, 사용자의 멀티미디어 트래픽을 전송하는 ONU는 가변적인 대역 요구량을 나타낸다. 이에 따라 각 ONU의 전송 요구 정보를 수집하여 이를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 Dynamic TDMA가 제안되었다.

Dynamic TDMA는 ONU로부터 전송된 대역 요구 정보를 기반으로 OLT가 다음 프레임에서 전송할 대역을 결정한다. 전송할 데이터가 많은 ONU에게 상대적으로 많은 대역을 제공하고 전송할 데이터가 적은 ONU에게는 적은 대역을 할당하므로 전체 채널의 이용률을 향상시킬 수 있다.

Interleaved Polling 기법은 폴링을 사용하여 각각의 ONU에게 상향 채널 전송 기회를 순차적으로 부여하므로써 가변적인 주기(cycle)를 운용하는 방법이다. 각 ONU의 할당받은 대역량에 따라 한 주기의 시간은 가변적이다. 입력 부하가 낮은 환경에서는 ONU가 전송하는 대역량이 감소하므로써 주기의 시간은 짧아진다. 반면 높은 입력 부하 환경에서는 모든 ONU가 많은 전송 대역을 요구하므로 한 주기의 시간은 증가한다.

본 논문에서는 요구/허락 패킷을 송수신하여 각 ONU에게 동적으로 대역을 할당하는 Dynamic TDMA 프로토콜을 기반으로 Ethernet-PON 시스템을 설계하였다.

Ⅲ. Ethernet-PON 설계

Ethernet-PON 시스템의 구조를 그림 2와 같이 설계하였다. 각각 1Gbps 전송률을 제공하는 상·하향 전송 링크는 OLT와 Coupler, Coupler와 ONU 사이를 연결한다.

링크를 통해 제어 패킷과 데이터 패킷들이 전송되며, 등록 (Registration), 레인징 (Ranging), 동적 대역 할당, 데이터 전송과 같은 기능을 수행한다. 광 분배기의 분기율은 1:16으로 16개의 ONU를 고려하였고, 각 ONU로부터 OLT까지의 RTT (Round Trip Time)는 반경 2㎞ 거리 제한을 고려하여 200 ㎲보다 작은 값으로 랜덤하게 설정하였다.

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

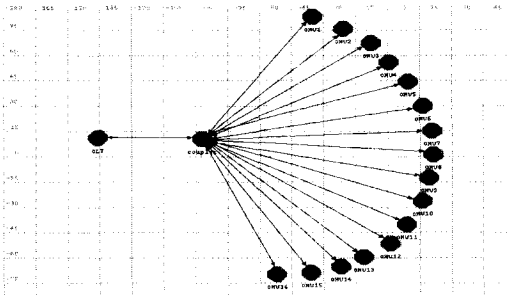


그림 2. Ethernet-PON 시스템을 위한 네트워크 모델

Ethernet-PON에서 OLT와 ONU의 상태는 수행하는 기능에 따라 활성화된 ONU를 OLT에게 등록시키기 위한 등록 (Registration) 상태, 전송 동기화를 위해 ONU와 OLT간의 전파 지연 시간을 측정하는 레인징 (Ranging) 상태, 그리고 등록과 레인징을 수행한 후에 ONU와 OLT간에 데이터를 송·수신하는 데이터 전송 상태로 나누어진다.

그림 3은 설계한 Ethernet-PON의 상·하향 프레임 구조이다. 하향 프레임은 동기 비트와 허가 (Grant) 패킷, 그리고 하향 데이터로 구성된다. 허가 패킷은 매 프레임마다 각 ONU에게 방송되며 상향 프레임의 대역 할당 위치 및 크기, 전송해야할 패킷 종류 등을 지시한다. 하향으로 전송하는 각 패킷은 각각 96bits의 Inter Packet Gap을 갖는다.

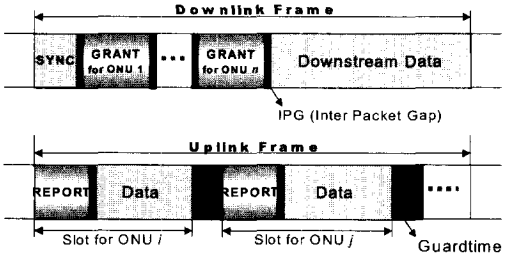


그림 3. 상·하향 프레임 구조

상향 프레임은 각 ONU에게 할당된 전송 대역들로 구성되며 서로 다른 ONU에게 할당된 전송 대역 사이에는 레이저 ON/OFF 시간과 클럭 복원시간 등을 고려하여 8 μs의 가드 타임을 부여함으로써 상향 채널을 통해 연속하여 전송하는 버스트 간 중첩을 제거하였다.

3.1. 등록 기능 설계

OLT는 하향 채널을 통해 각 ONU에게 등록 요청 허가 (Registration Request Grant) 패킷을 방송한다. 등록을 원하는 ONU는 등록 요청 허가 패킷을 수신한 후, 자신의 ID와 Δt를 기록한 등록 요청 (Registration Request) 패킷을 OLT에게 전송한다. 이를 성공적으로 수신한 OLT는 해당 ONU의 RTT를 계산하고, 등록 응답 (Registration Response) 패킷을 통해 ONU가 등록되었음을 알린다.

그림 4는 등록을 위해 OLT와 ONU의 제어 패킷 교환 절차를 보여준다. 이때 등록 요청 패킷 전송은 다수의 ONU들 간에 경쟁 방식으로 이루어지므로 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 충돌을 회피하기 위하여 ONU가 허가 패킷을 수신한 후 곧바로 등록 요청 패킷을 전송하지 않고 임의의 지연을 갖도록 설계하였다.

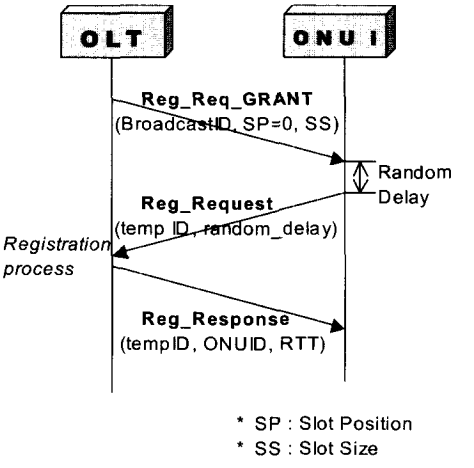


그림 4. 등록 절차

허용하는 지연의 최대값은 OLT가 전송하는 허가 패킷을 통해 전달하며, ONU가 겪은 임의의 지연은 등록 요청 패킷 내에 기록하여 OLT에게 알림으로써 RTT 계산이 정확히 수행할 수 있도록 하였다. 충돌 발생은 특정 시간 이내에 등록 응답 패킷이 ONU에게 수신되지 않으므로써 감지되며 ONU는 다음 등록 요청 기회에 재시도한다.

등록은 시스템 초기화 과정에서 이루어지는 초기 등록(Initial Registration)과 시스템 정상 모드에서 임의의 ONU가 OLT에게 등록하기 위한 나중 등록 (Late Registration)으로 나누어진다.

초기 등록은 데이터 전송이 진행 중인 ONU가 없으며, 최대 16개의 ONU가 동시에 등록을 요청할 수 있으므로 다수의 ONU들이 등록 요청 패킷을

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

OLT에게 성공적으로 전송할 수 있도록 충분한 대역을 할당해야한다. 반면 나중 등록은 OLT와 데이터 교환 중인 다른 ONU들이 존재하는 상황에서 등록 절차가 수행되어야 한다. ONU가 요구하는 시간 이내에 등록 절차가 완료되어야 하므로, OLT가 나중 등록을 위한 대역을 주기적으로 할당하도록 설계하였다. 할당하는 대역의 크기는 RTT의 최대값으로 설정하였다. 나중 등록을 원하는 ONU는 등록을 위한 허가 패킷이 도착할 때까지 대기한 후, 나중 등록 허가 패킷이 도착했을 때 자신의 등록 요청 패킷을 전송한다.

본 논문에서는 나중 등록을 위한 대역을 1초마다 주기적으로 할당할 뿐만 아니라 패킷 스케쥴링 알고리즘의 결과로부터 208㎲보다 큰 대역이 남는 경우에는 나중 등록을 위한 대역으로 208㎲를 추가 할당하였다. 등록을 위해 할당하는 대역의 크기는 최대 RTT와 가드타임을 고려하여 208㎲로 설정하였다. 이와같이 제안한 등록 대역 할당 알고리즘은 상향 채널의 부하가 낮은 환경에서 나중 등록을 위한 대역이 빈번하게 할당되므로 나중 등록을 위한 지연을 효과적으로 감소시킬 수 있고, 부하가 높은 환경에서는 주기적인 대역 할당에 의존하여 요구하는 등록 지연을 만족시킬 수 있다.

3.2. 레인징 기능 설계

트리 구조의 물리적 구조를 갖는 시스템에서 망내 분산된 ONU들은 루트에 위치한 OLT로의 패킷 전송을 위하여 상향 채널을 공유해야한다. 이때 신호 결합 부분에서 충돌이 발생할 수 있다. 충돌은 서로 다른 ONU로부터 상향 채널로 전송된 데이터 패킷이 망의 분기 지점에 동시에 도착하거나 부분적으로 전송 타임이 중첩되었을 때 발생한다. 이러한 충돌은 분기된 광 링크의 길이가 서로 다르거나 외부적인 요소(예: 열, 온도 변화)로 인해 전파 지연 시간이 서로 다르기 때문에 발생한다.

충돌된 데이터 스트림은 망의 분기 지점의 수동 특성으로 인해 OLT까지 도달되며, 충돌된 스트림에 대한 제어 기능은 왕복 전파 지연 시간만큼의 부가적 지연을 요구하므로 충돌 발생은 많은 수의 비트 에러와 프레임 손실, 자원 낭비를 초래한다. 이에 따라 OLT로부터 각기 다른 거리에 위치한 ONU들이 상향 채널을 액세스할 때 충돌을 피하기 위해 레인징(Ranging)을 사용한다.

레인징 기법은 OLT까지의 거리가 각기 다른 ONU로부터 전송된 프레임들을 충돌 없이 다중화하기 위하여 OLT가 각 ONU들의 전파 지연 시간을 측정하고 이를 이용하여 모든 ONU를 동일한 가상 거리에 위치시켜 프레임 전송을 제어하는 방식이다.

그림 5는 레인징 과정을 수행하기 위한 제어 패킷을 교환 절차이다. 레인징을 수행하기 위해 OLT는 등록을 마친 ONU에게 레인징 요청 허가(Ranging Request Grant) 메시지를 전달하고, ONU로부터 레인징 요청 (Ranging Request) 메시지를 수신한다. 이 두 메시지의 송/수신 시각을 기반으로 OLT는 RTT를 계산하고 등록 절차에서 측정한 RTT값을 보정하여 RTT 관리 테이블에 기록한다.

각 ONU들의 상향 메시지가 충돌(중첩)없이 전송되기 위해서는 정확한 RTT 측정이 요구되며, 이를 위해 레인징을 위한 두 패킷의 송/수신 절차를 두 차례 반복하도록 설계하였다. 하지만 이로 인하여 처리 지연이 증가할 수 있으므로, 등록 과정에서 측정한 RTT를 적극적으로 이용함으로써 레인징 절차를 한 번 수행하더라도 두 번 수행한 것과 마찬가지의 결과를 얻을 수도 있다.

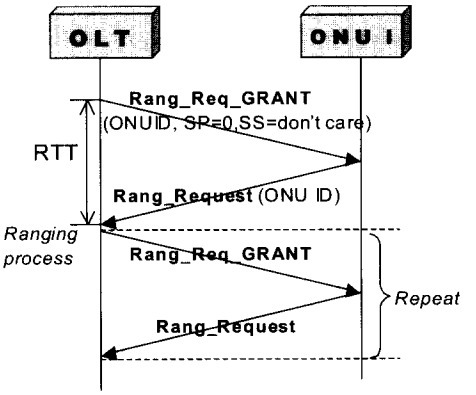


그림 5. 레인징 절차

OLT는 데이터 전송 상태인 ONU들에 대해서도 계속적으로 상향 메시지들의 도착 시각을 체크하여 RTT의 변화량이 허용 범위보다 커질 때 RTT 테이블에 기록된 값을 보정하기 위한 동적 레인징(dynamic ranging)을 수행한다. 외부적인 요소(예: 열, 온도 변화)로 인해 광 섬유를 이용한 전파 지연 시간이 변화할 수 있기 때문이다. 이때 RTT 변화량의 허용 범위는 ONU의 버스트 간 가드 타임을 고려하여 결정하였다. 본 논문에서 작성한 시뮬레이터는 외부적인 요소에 따른 링크의 전파 지연 시간의 변화를 고려하지 않았다. 그러나 동적 레인징을 수행을 위한 기능은 구현하였으며 강제적으로 임의의

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

시간에 RTT 값을 변화시켰을 때, OLT가 성공적으로 변경된 RTT를 판단할 수 있음을 확인하였다.

3.3. 동적 대역 할당 기능 설계

Ethernet-PON 시스템에서 하향 채널을 통해 OLT는 TDM 슬롯을 모든 ONU에게 방송되고 목적지로 지정된 ONU만이 자신의 슬롯을 수신하는 형태이다. 반면 상향 전송에서는 다수의 ONU들이 공유된 망 자원을 통해 상향 프레임을 전송한다. ONU는 멀티미디어 트래픽을 전송하기 때문에 가변적인 대역 요구량을 갖는다. 이에 따라 본 논문에서는 각 ONU의 전송 요구 정보를 수집하여 이를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 동적 대역 할당 알고리즘을 설계하였다.

그림 6은 동적 대역 할당을 위한 제어 패킷 교환 절차이다.

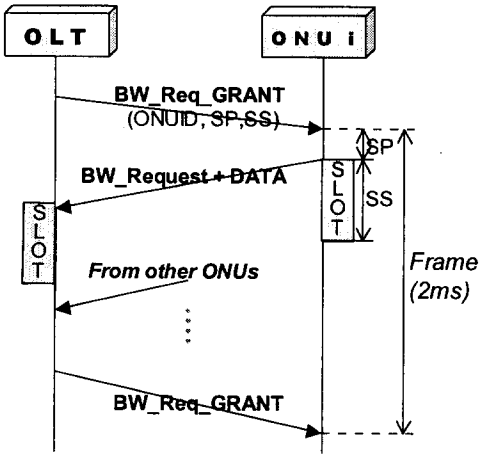


그림 6. 동적 대역 할당을 위한 제어 패킷 교환

먼저 OLT는 각 ONU가 전송 대역을 요청을 위한 대역 요청 (Bandwidth Request) 패킷을 전송할 수 있도록 하향 채널을 통해 허가 (Grant) 메시지를 전송한다. 허가 패킷은 해당 ONU의 전송 시작 시각과 할당된 대역의 크기를 전달한다. 만약 이전 프레임에서 ONU가 데이터 전송을 위해 요청한 대역이 없다면 OLT는 대역 요청 패킷 전송에 필요한 대역만을 할당한다. 전송 시작 시각(Slot Position)은 스케쥴링 결과와 해당 ONU에 대한 RTT를 고려하여 결정하며, 대역 요구 정보를 전송할 수 있는 기회는 매 프레임마다 모든 ONU들에게 부여하였다.

허가 패킷을 수신한 ONU는 자신의 큐에 저장된 데이터 패킷의 길이 정보를 OLT에게 전송하여 대역을 요청한다. OLT는 ONU들이 요청한 대역의 총합과 할당 가능한 상향 전송 대역을 고려하여 각각의 ONU에게 할당할 상향 전송 대역을 결정하고, 허가 패킷을 통해 ONU에게 방송한다. ONU는 자신이 할당받은 전송 대역을 통해 상향 데이터 패킷을 전송하며, 다음 프레임에서 필요한 전송 대역을 요청하기 위한 대역 요청 패킷도 함께 전송한다.

OLT는 ONU가 전송한 대역 요청 패킷으로부터 요구 대역 정보를 수집하고 이를 기반으로 각 ONU에게 할당할 전송 대역을 동적으로 결정한다.

임의의 ONU(i)에게 할당할 대역(BW^{i}_{alloc})은 모든 ONU로부터 요청 받은 대역의 총합($BW_{tot-req}$)과 할당 가능한 대역($BW_{tot-avail}$), ONU(i)가 요청한 대역(BW^{i}_{req})을 고려하여 다음과 같이 결정한다.

$$BW^{i}_{alloc} = \min\left(BW^{i}_{req}, \frac{BW^{i}_{req} \times BW_{tot_avail}}{BW_{tot_req}}\right)$$

앞서 언급한 기능들을 수행하는 OLT와 ONU의 프로세스 모델을 그림 7과 그림 8과 같이 설계하였다. 또한 사용되는 제어 패킷들을 표 1과 같이 정의하였다.

표 1. Ethernet-PON 제어 패킷

항목 / 상태	패 킷 이 름	전 송 정 보	전송방향
등 록	· Initial Registration Request Grant	Slot position, Slot size, Broadcast ID	하향
	· Registration Request	Random delay, Temp ID	상향
	· Normal Grant (type: Late Registration Grant)	Slot position, Slot size, Broadcast ID	하향
	· Registration Response	RTT, Registration ID, Temp ID	하향
레 인 징	· Normal Grant (type: Ranging Request Grant)	Slot position, Slot size, Registration ID	하향
	· Ranging Request	Registration ID, Random delay	상향
동적대역 할 당	· Bandwidth Request	Registration ID, Queue length	상향
	· Normal Grant (type:BW Request & Data Grant)	Slot position, Slot size, Registration ID	하향

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

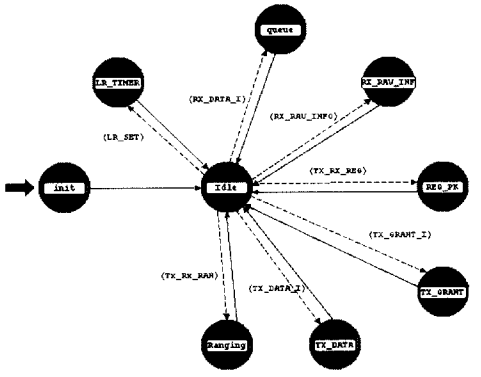


그림 7. OLT의 MAC 프로세스 모델

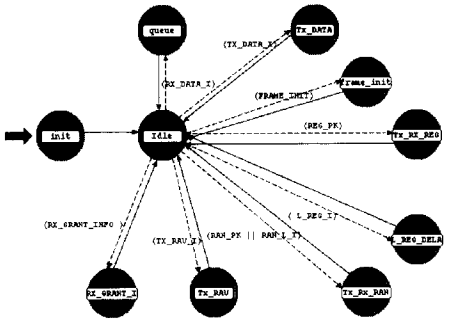


그림 8. ONU의 MAC 프로세스 모델

Ⅳ. 성능 평가 및 분석

본 논문에서는 설계한 시뮬레이터를 사용하여 경쟁 방식을 사용하는 ONU의 등록 요청 메시지를 효율적인 운용하기 위한 대역 할당과 다양한 매체 접근 제어 프로토콜에 대한 성능 평가를 수행하였다. 버스트 특성을 갖는 트래픽을 발생시키기 위해 ON 구간과 OFF 구간의 비가 1:4인 On-Off 트래픽 모델을 사용하였으며, 패킷의 크기는 IP 트래픽 패턴을 고려하여 표 2와 같이 결정하였다 [9].

표 2. 패킷 길이 분포

데이터 패킷 길이(Byte)	확률
64	0.03
64 ~ 580	0.17
580	0.18
580 ~ 1518	0.12
1518	0.50

먼저 초기 등록을 위해 할당한 대역 크기의 변화에 따른 등록 성공률을 그림 9에 나타내었다. ONU의 수가 16인 경우와 32인 경우 모두 2 프레임 시간 이내에 모든 ONU가 등록에 성공할 수 있었다.

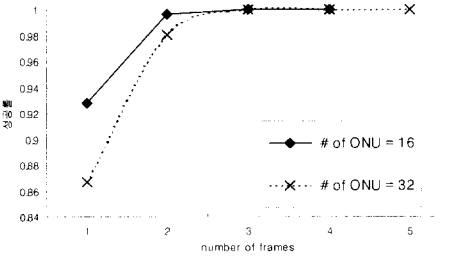


그림 9. 초기 등록 요청 성공률

그림 10은 나중 등록을 위해 겪는 지연을 측정한 결과이다. 나중 등록을 위한 대역을 주기적으로 할당하는 방법 (Periodic)과 남는 대역이 있을 때마다 동적으로 추가 할당하는 방법 (Dynamic+Periodic)에 대하여 측정하였다. 대역을 할당하는 주기는 두 방법 모두 1초로 가정하였다.

높은 입력 부하 환경에서는 두 가지 방법이 동일한 지연을 겪는다. 이는 등록을 위해 추가 할당하는 대역이 거의 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 반면 입력 부하가 낮은 경우에는 주기적인 할당과 동적 할당을 병행하는 방법이 매우 낮은 등록 지연을 나타낸다. 즉, ONU가 OLT에 빠른 시간 내에 등록될 수 있음을 의미한다. 주기적으로만 할당하는 방법은 입력 부하에 관계없이 대역 할당 주기의 평균 시간만큼의 지연을 갖는다.

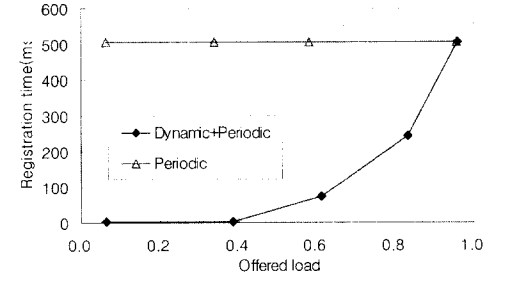


그림 10. 나중 등록을 위한 지연

그림 11은 Static TDMA와 Dynamic TDMA의 채널 이용률에 관한 결과이다. Hot-spot ratio(h)는 네트워크 상에서 트래픽의 버스트 정도를 나타내는

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr

지표로 h가 증가할수록 트래픽의 버스트 특성은 강해지며 전체적으로 불균등한 트래픽을 발생시킨다. 그래프에서 볼 수 있듯이 Static TDMA는 버스트가 증가했을 때 큰 성능 저하를 보인다. 반면 Dynamic TDMA는 버스트가 증가하더라도 이용률에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이는 동적 대역 할당을 수행하는 Dynamic TDMA가 버스트 특성을 갖는 트래픽에 대하여 다중화를 수행함으로써 채널을 효율적으로 사용하기 때문이다.

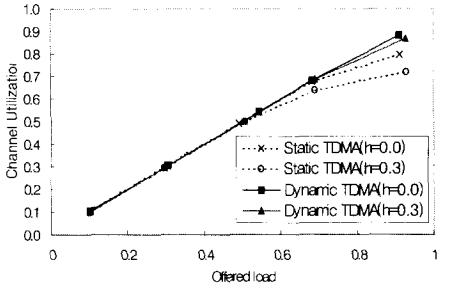


그림 11. 채널 이용률

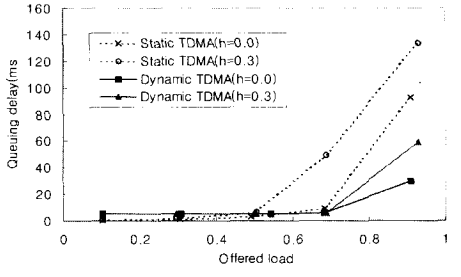


그림 12. 큐잉 지연

그림 12는 Static TDMA와 Dynamic TDMA의 큐잉 지연에 관한 결과이다. Static TDMA는 낮은 입력 부하 환경에서는 매우 낮은 지연을 보이지만 입력 부하가 증가함에 따라 큐잉 지연이 급격히 증가함을 알 수 있다. 특히 버스트가 강한 트래픽 환경에서는 입력 부하가 약 0.5일때부터 급격히 증가하기 시작한다.

반면 Dynamic TDMA는 버스트가 증가하여도 입력 부하가 0.7이 될 때까지 낮은 큐잉 지연을 유지한다. 입력 부하가 매우 낮은 환경에서의 지연 성능을 살펴보면 Dynamic TDMA가 Static TDMA보다 지연이 크다. Dynamic TDMA는 ONU가 데이터 패킷을 전송하고자 할 때 우선적으로 대역 요구 정보를 OLT에게 전송해야하며 OLT로부터 전송 허가 패킷을 수신한 후 실질적인 패킷 전송이 이루어지기 때문에 평균 3 프레임 시간에 해당하는 최소 전송 지연을 갖는다. 그러나 Static TDMA는 항상 고정된 대역이 할당되므로 별도의 메시지 교환없이 곧바로 전송 기회를 가질 수 있기 때문에 매우 낮은 지연 성능을 가질 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.3ah에서 논의되고 있는 Ethernet-PON 시스템에 대하여 OPNET을 이용한 시뮬레이션 모델을 구현하고 성능 평가 결과를 제시하였다. 이를 위하여 Ethernet-PON 시스템 구조와 주요 기능들을 수행하기 위한 절차를 기술하고 이를 수행하기 위한 OLT와 ONU의 프로세스 모델을 설계하였다.

설계한 시뮬레이터는 단일의 OLT, 단일의 Coupler, 16개의 ONU로 구성되며 요청/허가 기반의 Dynamic TDMA 프로토콜을 사용한다. 또한 제어 패킷들의 교환 절차를 통해 등록, 레인징, 동적 대역 할당 등의 기능을 수행하도록 설계하였다. 시뮬레이션을 수행하여 경쟁 방식을 이용한 초기 등록 절차에서의 성공률, 대역 할당 방법에 따른 나중 등록 지연, Static TDMA와 Dynamic TDMA 등의 성능 평가 결과를 제시하였다.

Static TDMA는 트래픽 발생 특성에 관계없이 항상 일정한 대역을 할당하기 때문에 전송 대역을 요구하지 않는 ONU에게도 균등한 대역이 할당되며 이는 대역의 낭비를 초래하고 성능을 저하시킨다. 반면 Dynamitc TDMA는 요구 정보를 기반으로 동적 할당하기 때문에 효율적인 다중화를 수행할 수 있다. 이에 따라 다양한 트래픽 환경에서 Static TDMA보다 우수한 성능을 나타낸다.

본 논문에서 설계한 시뮬레이션 모델은 EFM에서 논의되는 표준화 사항들을 적극적으로 반영할 수 있도록 수정해 나갈 것이다. 또한 현재 국내·외에서 활발히 논의되고 있는 Ethernet-PON 시스템의 설계를 위한 여러 기술 사항들에 대하여 적절한 선택 기준을 제시하기 위해 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

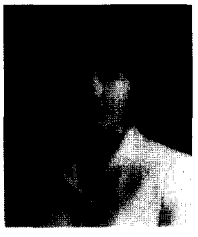
참고문헌

[1] Glen Kramer and Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network(EPON): Building a

www.dbpia.co.kr
Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd.

Next-Generation Optical Access Network," *IEEE Communications Magazine*, Feb. 2002.
[2] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the broadband local loop," *Lightwave, PennWell*, vol. 16, no. 10, pp68-74, September 1999.
[3] B. Lung, "PON architecture 'futureproofs' FTTH," *Lightwave, PennWell*, vol. 16, no.10, pp.104-107, September 1999.
[4] G. Kramer, et.al., "Ethernet PON(ePON) : Design and Analysis of an Optical Access Network," *Phot. Commun.*, vol 3, no. 3, July 2001, pp. 307-19
[5] Glen Kramer and Biswanath Mukherjee, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON(EPON)," *IEEE Communications Magazine,* Feburary 2002.
[6] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force
[7] Tang Shan, "EPON UpstreamMultiple Access Scheme," *ICII 2001.*
[8] K. Park and W. Willinger, " Self-Similar Network Traffic: An Overview," *Wiley Interscience,* 2000.
[9] S. McCreary, et.al., "Trends in Wide Area IP Traffic Patterns," Cooperative Association for Internet Data Analysis, http://www.caida.org
[10] Jongwook Jang, E. K. Park, "Dynamic Resource Allocation for Quality of Service on a PON with Home Networks," *IEEE Communication Magazine*, June 2000.

안 계 현(Kye-Hyun Ahn) 정회원



1996년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
1998년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사
2003년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
2003년 4월~현재 : 한국과학재단 신진연구자연수사업지원 연수연구원

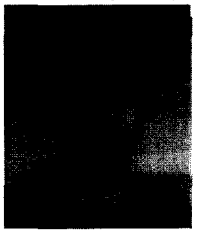
<주관심분야> 매체접근제어프로토콜, 광가입자망, 무선가입자망, 네트워크 프로토콜

한 경 은(Kyeong-Eun Han) 학생회원

2001년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
2003년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사

<주관심분야> Ethernet-PON, AON, 네트워크 프로토콜

박 혁 규(Hyuk-Gyu Park) 정회원



1997년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
1999년 2월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사
1999년 3월~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야> MAC 프로토콜, 광가입자망, Ethernet -PON, WDM-PON

노 선 식(Sun-Sik Roh) 정회원

한국통신학회 논문지 제27권 제1호 참조
현재 : 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 교수

김 영 천(Young-Chon Kim) 정회원

한국통신학회 논문지 제19권 제2호 참조
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수

Copyright (C) 2002 Nuri Media Co., Ltd. www.dbpia.co.kr