

이더넷 PON을 위한 MAC 프로토콜 성능 분석

정희원 안 계 현*, 이 봉 주**, 한 경 은*, 강 동 국*, 김 영 천*

Performance Analysis of MAC Protocols for Ethernet PON

Kye-Hyun Ahn*, Bong-Ju Lee**, Kyeong-Eun Han*, Dong-Kook Kang*,
Young-Chon Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문은 이더넷 PON 환경에서 다양한 MAC 프로토콜들의 성능을 분석함으로써 효율적인 MAC 프로토콜 구조를 제시한다. 이를 위하여 고정 길이를 갖는 프레임 기반의 MAC 프로토콜로서 사용자의 요구에 관계없이 동등한 대역을 할당하는 정적 TDMA(Static TDMA)와 사용자의 요구 대역 정보를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 동적 TDMA(Dynamic TDMA), 그리고 폴링을 사용하여 각각의 ONU에게 상향 채널 전송 기회를 부여하므로써 가변적인 주기(cycle)를 운용하는 인터리브드 폴링(Interleaved Polling)을 고려하였다. 각 프로토콜이 갖는 구조를 분석하여 이용 가능한 데이터 전송률을 비교하고 또한, OPNET 기반의 시뮬레이션을 수행하여 다양한 트래픽 환경에 대한 각 프로토콜의 성능을 채널 이용률과 큐잉 지연 관점에서 비교하고 분석하였다.

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

ABSTRACT

In this paper, we analyze the performances of variable MAC (Medium Access Control) protocols and present an efficient MAC protocol for Ethernet PON (Passive Optical Network). We consider three MAC protocols: static TDMA, dynamic TDMA, and Interleaved polling. Static TDMA assigns an equal amount of bandwidth to all ONUs regardless of the request information but Dynamic TDMA dynamically allocates the bandwidth to each ONU considering its request. Interleaved Polling operates a cycle with variable time period and a polling method for informing a uplink transmission chance to each ONU. This paper theoretically analyzes the available bandwidth for each of three protocols. We also implement the simulation models for them by using OPNET and evaluates the performances under various bursty traffic environments. The results are compared and analyzed in terms of channel utilization and queueing delay.

I. 서 론

최근 인터넷 사용자의 증가로 인한 인터넷 트래픽의 증가와 음성·데이터·동영상과 같은 다양한 멀티미디어 서비스의 영향으로 사용자 측의 통신 대역 요구량이 큰 폭으로 증가하였고, 서비스 제공자 측면에서도 보다 수요성 있는 서비스 창출을 위해서는 방대한 대역폭이 요구된다. 따라서 가입자망

의 고속화를 위하여 다양한 기술들이 제시되고 있으며, 음성, 데이터 및 영상의 통합 서비스를 수용할 수 있는 광가입자망은 가장 유망한 기술로 인정받고 있다. 광가입자망을 구현하기 위한 방안으로서 오늘날의 광가입자망 기술 수준, 가입자의 형태, 지리적 조건, 서비스 품질, 경제성 등을 고려할 때 수동형 광가입자망 (Passive Optical Network : PON)이 현실성 있는 구현 방안으로 주목받고 있

* 전북대학교 컴퓨터공학과, 영상정보통신기술연구소 (khyun@networks.chonbuk.ac.kr, yckim@moak.chonbuk.ac.kr)

** 전북대학교 영상공학과 (bjlee@networks.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : 020487-1111, 접수일자 : 2002년 11월 11일

※ 본 연구는 (주)삼성전자 지원으로 수행되었습니다.

다. 특히 이더넷 PON은 인터넷 트래픽의 95%를 차지하는 이더넷 프레임에 활용함으로써 ATM (Asynchronous Transfer Mode)과 IP 프로토콜간 변환에 따른 오버헤드를 제거하여 더 넓은 대역폭을 제공하고, 유지 보수 및 트랜시버 소자 가격이 저렴하여 경제적인 서비스를 제공할 수 있는 광가입자 기술로서 최근 활발한 연구가 진행되고 있다 [1-8]. IEEE 802 LAN (Local Area Network)/MAN (Metropolitan Area Network) 표준 위원회는 2000년 11월에 기존 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 기반의 이더넷 LAN 기술을 개발하던 802.3 Working Group 산하에 EFM (Ethernet in the First Mile) 스터디 그룹을 결성하여 이더넷 PON 기술에 대한 표준화에 착수하여 2003년까지 표준화를 완료한다는 계획이다. EFM에서도 아직 프레임 구조를 확정하지 못하고, 메시지 구조(64byte)와 타임 스탬프 필드(32bit)등 프레임 구조 중 몇 개의 부분에 대해서만 표준안을 만든 상태이다[1].

이더넷 PON은 하나의 OLT (Optical Line Terminator)에 여러 개의 ONU (Optical Network Unit)를 수동 분배기를 사용하여 연결함으로써 트리 구조의 분산 토폴로지를 형성하는 가입자망 구조를 갖는다. OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 교환기의 회선에 직접 연결됨으로써 기간망 액세스 노드 기능을 담당한다. 즉, 가입자들로부터의 데이터 흐름을 집중화시키고 기간망에서 가입자망에 들어오는 데이터를 분배하며 다중화 된 데이터 흐름을 제어한다. 따라서 OLT는 상향 채널을 이용하고자 하는 각 ONU에게 공평하고 효율적으로 채널을 분배하기 위한 매체 접근 제어 기능을 요구한다.

본 논문에서는 이더넷 PON을 위한 MAC 프로토콜로서 정적 TDMA (Time Division Multiple Access), 동적 TDMA, 인터리브드 폴링 (Interleaved Polling)을 고려하여 성능을 비교하고 분석하였다. 먼저 각 프로토콜 구조가 갖는 오버헤드의 영향을 살펴보기 위하여 최대 데이터 전송률에 관한 성능을 비교 분석한다. 또한 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 다양한 트래픽 환경에서 채널 이용률과 큐잉 지연에 관한 성능을 비교하고 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 이더넷 PON 시스템 구조와 이에 적합한 MAC 프로토콜을 설계하기 위한 요구 사항을 설명한다. III장에서

는 다양한 이더넷 PON MAC 프로토콜들에 대한 프레임 구조와 전송 방식, 대역 할당 알고리즘을 기술한다. IV장에서는 이론적인 성능 분석과 시뮬레이션을 수행하여 MAC 프로토콜들의 성능을 비교하고 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 이더넷 PON 시스템

1. 시스템 구조

IEEE 802.3ah EFM에서는 광섬유를 이용하는 점대 다중점 망 구조로 이더넷 PON을 선정하여 2003년 10월을 목표로 표준화 작업 및 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. EFM에서 제안하는 이더넷 PON은 하나의 OLT에 여러 개의 ONU를 수동 분배기를 사용하여 연결함으로써 트리 구조의 분산 토폴로지를 형성하는 가입자망 구조이다.

그림 1은 이더넷 PON에서 상·하향 채널을 통한 이더넷 프레임의 전송 과정을 보여준다. 이더넷 PON에서 상향 채널은 다수의 ONU들이 공유된 망 자원을 통해 상향 프레임을 전송한다. 반면 하향 전송에서는 이더넷 프레임들이 분배기를 경유하여 모든 ONU들에게 방송(broadcast)된다.

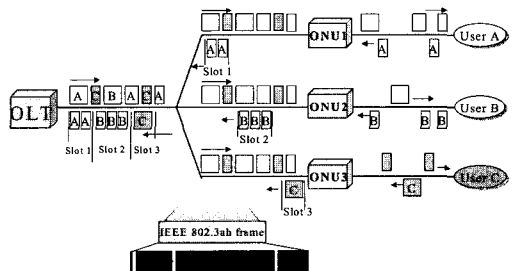


그림 1. 이더넷 PON에서 상·하향 프레임 전송

이더넷 기반 수동 광 가입자망에서의 전송 속도는 상·하향 모두 1Gbps이다. OLT에서 ONU까지의 거리는 최대 20Km 이내로 제한한다. 하향 전송에서는 이더넷 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.

OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 ATM 지역 교환기의 회선에 직접 연결됨으로써 기간망 액세스 노드 기능을 담당한다. 즉, 가입자들로부터의 데이터 흐름을 집중화시키고, 기간망에서 가입자망

에 들어오는 데이터를 분배하며, 다중화된 데이터 흐름을 제어한다. 따라서 OLT는 상향 채널을 이용하고자 하는 각 ONU에게 공평하고 효율적으로 채널을 분배하기 위한 MAC 제어 기능을 요구한다.

ONU는 FTTC (Fiber To The Curb), FTTB (Fiber To The Buliding) 또는 FTTH (Fiber To The Home)의 형태로 분류될 수 있다. FTTC 또는 FTTB는 다수의 가입자가 하나의 ONU를 공유하는 형태로 옥외에 존재하는 광 캐비닛 장비인 ONU와 가입자 사이는 Twisted Pair나 동축케이블로 연결되며, 최대 127개의 가입자가 하나의 ONU를 공유할 수 있다. 반면, FTTH의 경우는 옥외 광 캐비닛 장비를 요구하지 않으며 덕내에까지 광 신호가 전달되므로 단일의 가입자가 ONU에 직접 접속된다.

OLT와 ONU는 파장 분할 다중화 기술을 사용하여 서로 다른 영역의 파장 채널을 상/하향 채널로 사용함으로써 하나의 광 링크로 양방향 통신망을 구성할 수 있다.

2. 이더넷 PON을 위한 MAC 프로토콜 요구사항

이더넷 PON에서 상향 채널은 다수의 ONU들이 공유하고 있으므로 데이터 전송을 위해 공유 자원의 사용 권한을 얻기 위한 매체 접근 제어 방식이 필요하다. 일반적으로 이더넷에서 CSMA/CD 방식을 사용하지만 OLT에서 ONU 또는 ONU에서 OLT로 데이터가 단방향으로 전송되는 이더넷 PON 구조에는 적합하지 않으며, 초고속의 이더넷 PON에서는 CSMA/CD 방식보다 망 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 매체 접근 제어 프로토콜이 요구된다. 따라서 이더넷 PON 구조에서는 상·하향 채널에 대한 모든 전송 권한을 OLT에서 할당하는 중앙 집중식 제어 방식을 사용한다.

이더넷 PON을 위한 MAC 프로토콜을 위한 요구 사항은 다음과 같다 [1].

- 프로토콜의 호환성을 위해 이더넷 MAC 기능을 이용하여 이더넷 PON을 위한 새로운 기능을 추가해야 한다.
- OLT와 ONU들 사이의 트래픽은 표준화된 MAC 기능을 이용하여 전송되어야 한다. 단, 망 성능향상을 위해 CSMA/CD 방식은 사용하지 않는다.
- OLT는 특정 시간에 오직 한 ONU만이 상향 채널을 점유할 수 있도록 허가 신호를 제어해야 한다. 이로 인한 상향 트래픽의 충돌을 회피할

수 있어야 한다.

- OLT는 ONU의 상향 트래픽이 허용 지연 시간을 초과하지 않도록 전송을 보장해야 한다.
- ONU들과 OLT에서는 서로 다른 전송 지연차가 존재하므로, OLT는 레인징 기능을 이용하여 ONU들의 전송을 보장해 주어야 한다.
- 이더넷 PON에서 하향 트래픽의 방송으로 발생하는 ONU간의 정보 유출을 방지해야 한다.
- 이더넷 PON MAC은 망 장애, ONU 초기화, 동적 대역할당, 망 성능 측정 및 분석을 위한 OAM 기능을 수행해야 한다. 또한 OAM 기능은 MAC 프로토콜을 이용하여 구현되어야 한다.
- 이더넷 PON 구성비용을 감소하고 이더넷 PON의 현장 도입 시간을 앞당기기 위해서 이더넷 PON은 기존의 이더넷 장비와 현재 사용 가능한 광소자를 이용하여 구성되어야 한다. 또한 이더넷 PON의 성능 향상은 ONU의 변화 없이 OLT의 기능을 향상함으로써 이루어져야 한다.

III. 이더넷 PON을 위한 MAC 프로토콜

이더넷 PON을 위한 MAC프로토콜로서 정적 TDMA, 동적 TDMA[1,2], 인터리브드 폴링[5]을 고려하였다.

1. 정적 TDMA

정적 TDMA는 매 프레임마다 단일 ONU가 전송할 수 있는 대역이 고정되어 있다. 즉, 동일한 크기의 TDM 슬롯이 ONU 개수만큼 상향 채널에 할당되며, 각 ONU는 자신에게 할당된 슬롯에만 데이터를 송신한다. 사용자로부터 전송된 패킷은 OLT로부터 할당받은 슬롯에 맞추어 ONU에서 버퍼링된 후에 해당 슬롯 시점에서 전송된다.

그림 2는 정적 TDMA 프로토콜 구조에서 상향 프레임 구조이다.

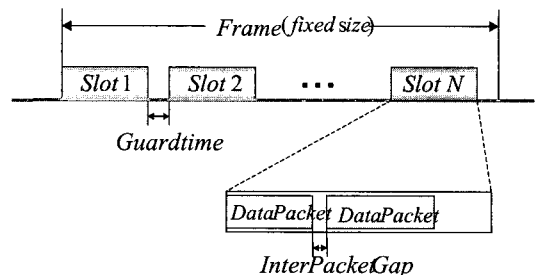


그림 2. 정적 TDMA 프레임 구조

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, 전송할 데이터가 많은 ONU는 전송할 대역이 부족하여 패킷을 지연시키는 경우가 발생한다.

이에 따라 정적 TDMA는 상향 채널의 이용율이 낮으며, ONU들의 트래픽의 변화에 능동적으로 대처할 수 없는 문제점이 있다. 특히 IP 트래픽은 강한 Self-Similarity 특성으로 인해 정적 TDMA 방식을 사용할 경우 자원의 이용률은 매우 저조할 것으로 사료된다. 이에 따라 각 ONU의 전송 요구 정보를 수집하여 이를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 동적 TDMA가 제안되었다.

2. 동적 TDMA

동적 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. 그러나 매 프레임마다 모든 ONU는 대역 요구 정보를 OLT에게 전송해야하므로 이에 따른 오버헤드가 발생한다.

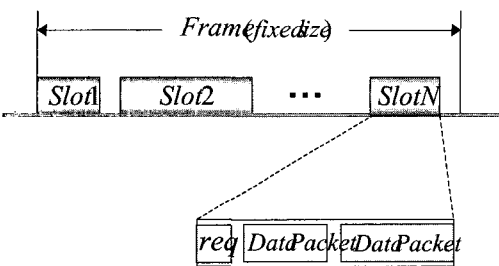


그림 3. 동적 TDMA 프레임 구조

본 논문에서 동적 TDMA를 사용하는 OLT가 요구 정보를 기반으로 수행하는 동적 대역 할당 알고리즘은 그림 4와 같이 설계하였다.

요구 패킷을 수신하여 각 ONU가 요구하는 대역량의 총합이 할당 가능한 대역폭보다 크지 않으면 요구한 대역을 그대로 할당한다. 반면 요구한 대역이 할당 가능한 대역을 초과한다면 각 ONU가 요구한 대역폭에 비례하여 할당할 대역을 결정한다.

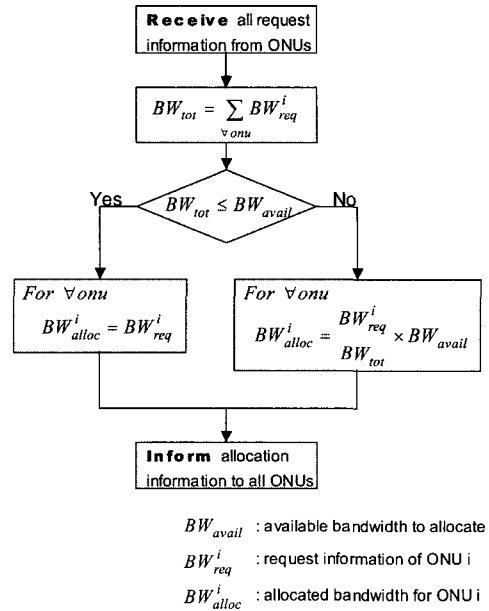


그림 4. 동적 TDMA를 위한 패킷 스케줄링 알고리즘

3. 인터리브드 폴링(5)

인터리브드 폴링 (Interleaved Polling)은 적응형 양방향 폴링 방식으로 ONU가 필요로 하는 대역을 요구할 수 있는 방식이다.

그림 5는 인터리브드 폴링을 사용하는 OLT와 ONU의 전송 방식을 나타낸다.

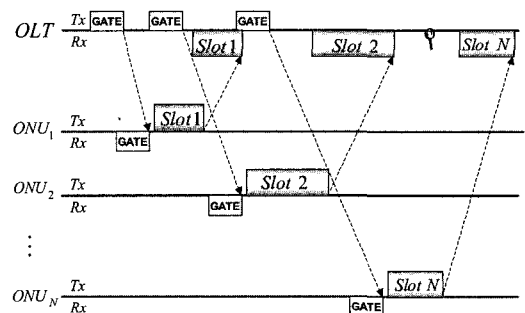


그림 5. 인터리브드 폴링에서의 액세스 절차

인터리브드 폴링 기법은 고정된 크기의 프레임을 운용하지 않는다. OLT는 폴링 방식을 사용하여 각 ONU에게 순차적으로 데이터 전송 기회를 부여한다. 데이터 전송 기회를 받은 ONU는 할당받은 시간동안 데이터 패킷을 전송하며 동시에 다음 주기를 위한 대역 요구량을 OLT에게 전달한다. 인터리브드 폴링 기법에서 프레임 구조는 그림 6과 같다.

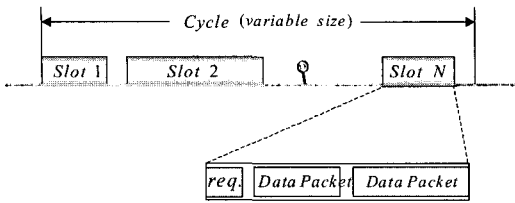


그림 6. 인터리브드 폴링 프레임 구조

각 ONU의 할당받은 대역량에 따라 한 주기의 시간은 가변적이다. 즉, 입력 부하가 낮은 환경에서는 각 ONU가 전송하는 대역량이 감소하므로 한 주기의 시간은 짧아지며 ONU는 전송 기회가 빈번하게 주어진다. 반면 높은 입력 부하 환경에서는 모든 ONU가 많은 전송 대역을 요구하므로 한 주기의 시간은 증가한다. 주기 시간 (cycle time)의 최대값을 제한하고 ONU간 공정성을 고려하기 위하여 ONU가 한번의 전송기회를 부여받았을 때 최대 전송 가능한 대역은 제한되어 있다. 이를 MTW (Maximum Transmission Window)라고 한다.

OLT에서 수행하는 대역 할당 알고리즘은 그림 7과 같다. ONU가 요구한 대역을 MTW와 비교하여 작은 값으로 선택하여 할당한다. 즉, 인터리브드 폴링 기법을 사용하는 시스템의 성능은 MTW 값에 따라 크게 영향을 받는다.

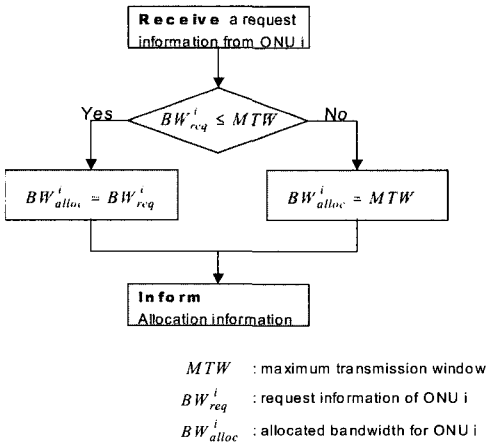


그림 7. 인터리브드 폴링을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘

IV. MAC 프로토콜 성능 분석

1. 최대 대역 이용률 분석

본 절에서는 앞서 언급한 세 가지 MAC 프로토

콜에 대하여 시스템이 제공할 수 있는 최대 데이터 전송률에 관한 분석을 수행한다.

ONU의 수는 16이고, 가드타임(Guardtime)은 1 μ s 또는 5 μ s이다. 정적 TDMA와 동적 TDMA의 단일 프레임 길이는 2ms로 고정되어있다. ONU가 OLT에게 대역 요구 정보를 전송하기 위한 제어 패킷의 길이는 96비트로 가정하였다. 인터리브드 폴링에서의 주기 길이는 가변이며, 입력 트래픽과 MTW에 따라 다르다. 본 논문에서는 MTW를 식 (1)과같이 결정하였다. 다른 기법과의 동일한 환경 설정을 위하여 모든 ONU가 MTW로 전송했을 때, 즉 최대 주기의 길이가 2ms 되도록 설정하였다.

$$MTW = 2 \times 10^6 \times \frac{1}{\text{ONU의 수}} - \text{Guardtime} \quad (1)$$

각 기법이 제공하는 전송 대역량을 비교 분석하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 전송 데이터를 분석

	Static TDMA	Dynamic TDMA	Interleaved Polling
Guardtime=5 μ s MTW=15,000bytes			
균등할당 대역폭	60Mbps	59.952Mbps	59.952Mbps
최대할당 대역폭	60Mbps	952.8Mbps	595.518Mbps
Guardtime=1 μ s MTW=15,500bytes			
균등할당 대역폭	62Mbps	61.952Mbps	61.952Mbps
최대할당 대역폭	62Mbps	991.232Mbps	876.018Mbps

먼저 균등 할당 대역폭은 16개의 ONU가 모두 균등하게 다수의 패킷 전송을 요구하는 경우에, 각 ONU에게 할당되는 대역량을 의미한다. 각 프로토콜은 프레임이 제공하는 전체 전송 대역을 ONU의 개수로 나눈 대역폭을 할당한다. 이때 정적 TDMA에서 프레임 구조가 갖는 오버헤드는 서로 다른 타임 슬롯을 구분하기 위한 가드타임이다. 반면 동적 TDMA와 인터리브드 폴링은 오버헤드로서 가드타임 뿐만 아니라 각 ONU가 전송 대역을 요구하기 위한 대역(16 \times 96bits)이 추가된다. 이에 따라 모든 ONU에게 균등 할당하는 대역을 비교하였을 때, 정적 TDMA가 동적 대역 할당을 수행하는 다른 기법보다 높은 전송 대역을 할당한다.

또한 단일 ONU만이 다수의 패킷 전송을 요구하

고 다른 ONU들은 전송 대역을 요구하지 않는 경우에 대하여 특정 ONU에게 최대 할당 가능한 대역폭을 계산하였다. 정적 TDMA는 트래픽 발생 특성에 관계없이 항상 일정한 대역을 할당하기 때문에 단일 ONU만이 전송을 요청하는 때에도 동일한 대역만이 할당된다. 즉, 전송 대역을 요구하지 않는 ONU에게도 균등한 대역이 할당되며 이는 패킷 전송에 사용되지 않는다. 동적 TDMA와 인터리브드 폴링은 ONU의 요구 정보를 기반으로 동적 할당하기 때문에 균등 할당하는 대역폭보다 큰 대역을 할당할 수 있다. 동적 TDMA는 전체 프레임 (2ms)에서 모든 ONU에게 한번의 대역 요구 정보 전송 기회를 부여한 후, 남은 대역을 모두 특정 ONU에게 할당한다. 그러나 인터리브드 폴링은 단일 ONU에게 할당할 수 있는 최대 대역폭이 제한되어 있다. 또한 단일 주기(cycle)의 길이는 짧아진다. 즉, 동일한 시간 이내에서 인터리브드 폴링은 동적 TDMA보다 ONU에게 대역 요구 정보 전송 기회를 자주 부여함으로써 오버헤드를 증가시킨다.

2. 시뮬레이션 결과 분석

OPNET을 이용하여 이더넷 PON에 관한 시뮬레이션 모델을 설계하고, 다양한 트래픽 환경에서 각 MAC 프로토콜의 성능을 채널 이용률과 큐잉 지연 관점에서 비교 분석하였다.

(1) 환경 설정

본 논문에서는 다양한 트래픽 환경에 대한 성능 분석을 위하여 버스트 특성을 갖는 ON-OFF 트래픽 모델을 사용하였다. ON 구간과 OFF 구간의 비율을 1:0, 1:1, 1:4, 1:9로 설정함으로써 서로 다른 버스트 특성을 갖도록 설계하였으며, 또한 전체 트래픽이 특정 ONU에게서 집중적으로 발생하는 경우에 대한 트래픽 환경을 고려하였다. 이를 위해 전체 ONU를 두 그룹으로 나누어 상대적으로 높은 트래픽 발생률을 갖는 그룹(ONU_{high})과 낮은 트래픽 발생률을 갖는 그룹(ONU_{low})으로 나누고, 집중 정도를 표현하는 파라미터, *h*에 따라 각 ONU는 트래픽을 생성하였다. ρ 는 전체 입력 부하를 의미한다.

ONU_{high}에 속하는 단일 ONU의 입력 부하

$$\rho_{high} = \frac{\rho \times h}{\text{ONU}_{high} \text{의 수}} + \frac{\rho \times (1-h)}{\text{전체 ONU의 수}}$$

• ONU_{low}에 속하는 단일 ONU의 입력 부하

$$\rho_{low} = \frac{\rho \times (1-h)}{\text{total number of ONU}}$$

발생하는 패킷 크기는 [8]에서 제시한 IP 트래픽 발생 분포율을 고려하여 표 2와 같이 결정하였다. 그 밖의 시뮬레이션 모델 구현을 위한 파라미터는 표 3과 같다.

표 2. 패킷 길이 분포

Packet Size(Bytes)	Probability
64	0.03
64 ~ 580	0.17
580	0.18
580 ~ 1518	0.12
1518	0.50
Total	1.00

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Number of ONU	16
Link Capacity	1 Gbps
Frame Time	2 ms
Maximum Transmission Window	117,000 bits
Inter packet gap	96 bits
Request control packet size	96 bits
Guardtime	8,000 bits

(2) 결과 분석

MAC프로토콜에 관한 성능을 평가하기 위하여 채널 이용률과 큐잉 지연을 측정하였다. 이때 채널 이용률은 시스템이 제공한 전체 채널 용량에 대하여 데이터 패킷 전송을 위해 사용한 대역의 비율이다. 프레임 구조가 갖는 오버헤드는 채널 이용률에 포함되지 않는다. 먼저 모든 ONU가 균등한 입력 부하를 갖는 환경에서 (*h*=0.0) 트래픽 버스트를 변화에 따른 MAC 프로토콜 성능 평가를 수행하였다.

그림 8~11은 버스트 특성의 변화에 따라 정적 TDMA, 동적 TDMA, 인터리브드 폴링에 대한 채널 이용률을 측정된 결과이다. 버스트 특성이 없는 트래픽 환경에서는 그림 8에서 알 수 있는 바와같이 세 가지 MAC 프로토콜이 모두 유사한 성능을 나타내며 높은 채널 이용률을 나타낸다. 반면 버스트가 증가함에 따라 정적 TDMA는 채널 이용률이

급격히 저하된다. 또한 동적 대역 할당을 수행하는 인터리브드 폴링 기법도 채널 이용률이 감소한다. 이는 ONU에게 할당가능한 최대 대역이 MTW로 제한되어 있기 때문에 동일한 입력 부하를 갖는 환경에서 버스트가 증가함에 따라 단일 주기 시간(cycle time)은 상대적으로 TDMA 기법의 단일 프레임 시간보다 짧으며, 이에 따라 오버헤드가 증가하기 때문이다. 반면 동적 TDMA는 버스트가 증가하더라도 채널 이용률 성능에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 동적 대역 할당을 수행하는 동적 TDMA가 버스트 특성을 갖는 트래픽에 대하여 통계적 다중화를 수행함으로써 채널을 효율적으로 사용하기 때문이다.

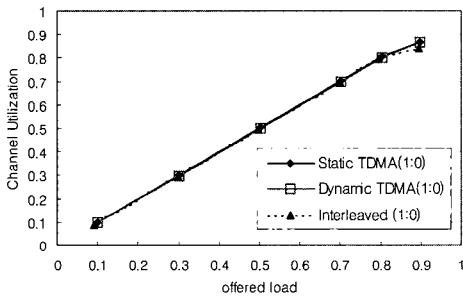


그림 8. 채널 이용률 비교 (On:Off = 1:0)

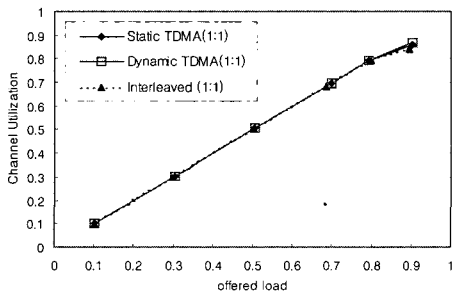


그림 9. 채널 이용률 비교 (On:Off = 1:1)

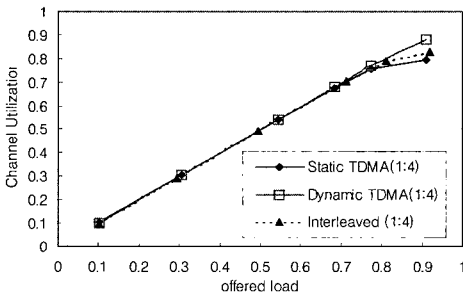


그림 10. 채널 이용률 비교 (On:Off = 1:4)

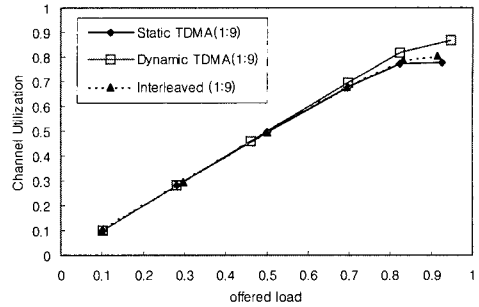


그림 11. 채널 이용률 비교 (On:Off = 1:9)

그림 12~15는 큐잉 지연에 관한 결과이다. 채널 이용률에서 살펴본 바와같이 정적 TDMA는 버스트가 증가함에 따라 큐잉 지연이 급격히 증가한다.

인터리브드 폴링은 낮은 버스트 환경에서는 동적 TDMA와 유사한 성능을 나타내지만 버스트가 증가할수록 정적 TDMA와 유사한 열악한 큐잉 지연 성능을 보인다. 인터리브드 폴링에서는 한번에 전송할 수 있는 최대 대역이 제한되기 때문에 큰 버스트 환경에서 다른 ONU가 사용하지 않은 대역이 있음에도 불구하고 다음 주기(cycle)에 대역을 할당받으므로 지연이 증가한다. 하지만 동적 TDMA는 버스트 특성에 관계없이 입력부하가 0.7일 때까지 낮은 큐잉 지연을 유지한다.

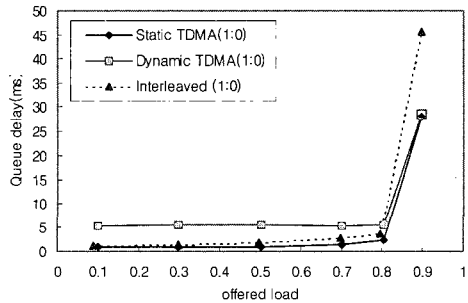


그림 12. 큐잉 지연 비교 (On:Off = 1:0)

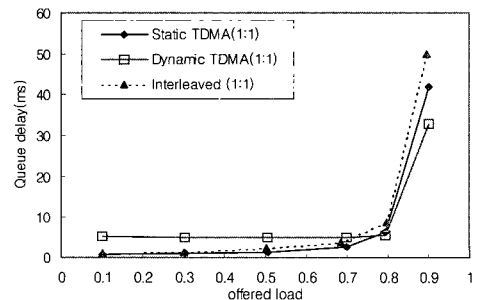


그림 13. 큐잉 지연 비교 (On:Off = 1:1)

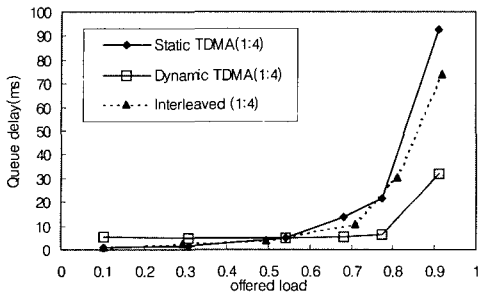


그림 14. 큐잉 지연 비교 (On:Off = 1:4)

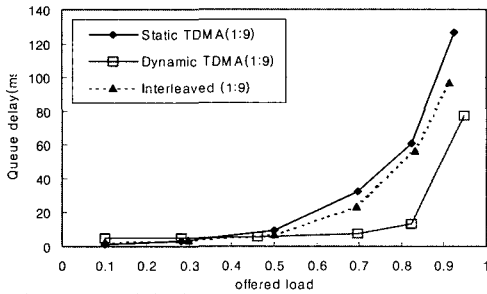


그림 15. 큐잉 지연 비교 (On:Off = 1:9)

한편 입력 부하가 낮은 환경에서 동적 TDMA는 약 3프레임에 해당하는 최소 전송 지연을 요구한다. 이는 ONU가 데이터 패킷을 전송하기 위해서는 우선적으로 대역 요구 정보를 OLT에게 전송해야 하며, OLT로부터 전송 대역을 허가하는 패킷을 수신한 후 실질적인 패킷 전송이 이루어지기 때문이다.

그러나 정적 TDMA는 항상 고정된 대역이 할당되므로 별도의 정보 전송 없이도 발생한 패킷이 곧바로 전송 기회를 가질 수 있으므로 입력 부하가 낮은 환경에서 매우 낮은 큐잉 지연을 갖는다.

또한 인터리브드 폴링은 동적 TDMA처럼 대역 할당을 위한 제어 패킷을 사용하지만 입력 부하가 낮을 때는 단일 주기 시간 (cycle time)이 짧아지기 때문에 낮은 큐잉 지연을 갖는다.

다음은 각 ONU들이 생성하는 트래픽 부하가 서로 같지 않은 환경에서 얻어진 시뮬레이션 결과이다. 전체 ONU를 두 그룹으로 나누어 8개의 ONU들은 상대적으로 많은 트래픽을 생성하고, 다른 ONU 그룹은 낮은 트래픽 부하를 갖는다. 집중 정도를 나타내는 파라미터 (h)가 1에 가까울수록 두 그룹 간의 생성하는 트래픽 부하량의 차이는 매우 크다.

불균등한 트래픽 환경에서 얻어진 채널 이용률과 큐잉 지연에 관한 결과를 그림 16과 그림 17에 나타내었다. 정적 TDMA와 인터리브드 폴링은 상대적으로 열악한 성능을 나타낸다. 많은 패킷 전송을

요구하는 ONU와 적은 량의 패킷 전송을 요구하는 ONU가 동시에 존재하므로 효율적인 다중화를 수행하는 동적 TDMA가 우수한 성능을 나타낸다.

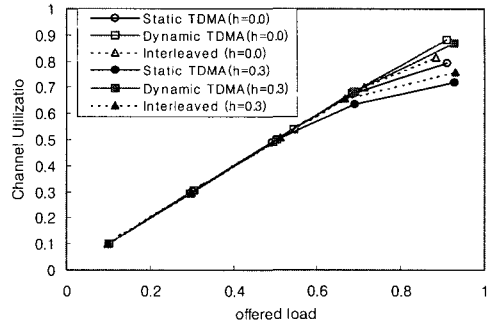


그림 16. 불균등한 트래픽 환경에서 채널 이용률

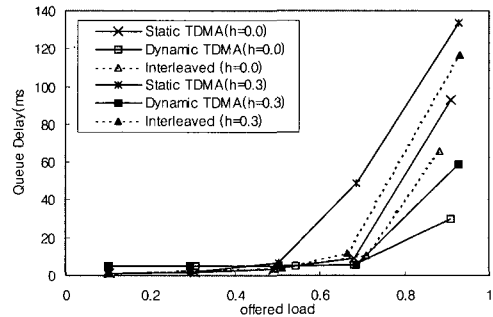


그림 17. 불균등한 트래픽 환경에서 큐잉 지연

V. 결론

본 논문에서는 이더넷 PON 시스템을 위한 효율적인 매체 접근 제어 프로토콜 설계를 위하여 정적 TDMA, 동적 TDMA, 인터리브드 폴링 기법에 대한 성능을 비교하고 분석하였다.

이를 위하여 먼저 각각의 MAC 프로토콜을 사용하는 이더넷 PON 시스템이 제공할 수 있는 데이터 전송률에 관한 이론적인 성능 분석을 수행하였다. 정적 TDMA가 낮은 오버헤드를 나타내지만 ONU의 대역 요구량 변화를 제공하지 않으므로 제공할 수 있는 최대 데이터율은 가장 낮다. 동적 할당을 수행하는 동적 TDMA와 인터리브드 폴링은 전송 대역 요구 및 할당을 위한 오버헤드가 필요하지만 요구량이 많은 ONU에게 상대적으로 많은 대역을 할당할 수 있다. 또한 인터리브드 폴링은 동적 TDMA와 달리 가변 길이를 갖는 주기를 운용하기 때문에 동적 TDMA보다 오버헤드가 크게 나타난다.

또한 본 논문은 OPNET을 이용한 시뮬레이션을

