

OPNET을 이용한 Ethernet PON에서의 동적 TDMA MAC 프로토콜의 설계 및 구현

정상원^o, 장용석^{*}, 엄중훈^{**}, 김승호^{*}

^{*}경북대학교 컴퓨터공학과, ^{**}KT 통신망연구소

{swjung, ysjang}@borami.knu.ac.kr

jheom@kt.co.kr, shkim@knu.ac.kr

Design and Implementation of Dynamic TDMA MAC Protocol for Ethernet PON Using OPNET

Sang-Won Jung^o, Yong-Seok Chang^{*}, Jonghoon Eom^{**}, Sung-Ho Kim^{*}

^{*}Department of Computer Engineering, Kyungpook National University

^{**}Telecommunication Network Laboratory, KT

요 약

Ethernet PON(Passive Optical Network)의 핵심 기술 중의 하나인 MAC(Media Access Control) 프로토콜은 ONU(Optical Network Unit)들이 상향으로 트래픽을 전송할 때 공유되어 있는 링크상의 충돌을 방지하고, 효율적인 대역폭을 할당하기 위한 스케줄링 알고리즘을 포함하고 있다. 본 논문에서는 차세대 가입자 망인 Ethernet PON의 성능을 최대화하기 위해, 가입자 망의 특성을 고려한 동적 슬롯 할당 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식의 MAC 프로토콜을 제안한다. 이를 검증하기 위하여 OPNET 시뮬레이션 도구를 이용해 Ethernet PON 모델을 설계하고 시뮬레이션 한다.

1. 서론

지난 몇 년간 기간 망의 전송용량은 WDM(Wavelength Division Multiplex), Dense WDM 등의 기술을 이용해 Tbps급까지 증가하고 있고, LAN 전송속도도 10Mbps나 100Mbps에서 출발해서 10Gbps까지 향상되고 있다. 이에 반해 가입자 망의 전송속도는 xDSL과 케이블 모델의 경우 수 Mbps급에 그친다[1].

이러한 현재 가입자 망의 전송속도는 폭발적으로 증가하는 가입자들의 대역폭 요구를 충족할 수가 없다. PON은 이러한 기간 망과 가입자 망간의 병목현상을 해결하고, 초고속 가입자 망 구축을 목표로 하고 있다. PON은 여러 개의 ONU가 광섬유를 통해 OLT(Optical Line Termination)를 공유하는 점 대 다점(Point to Multipoint) 망 구조이며, 가입자와의 데이터 전송방식에 따라 ATM(Asynchronous Transfer Mode) PON과 EPON(Ethernet PON)으로 나눌 수 있다. ATM PON은 EPON에 비해서 전송 용량이 떨어지고 고비용을 요구하기 때문에 가입자 망으로 적용하기에 한계가 있다[2][3]. 반면 EPON은 저렴한 비용으로 최대 1Gbps 급의 대역폭을 각 ONU에게 제공하고, 수동 광 분배기(Passive Optical Splitter)를 사용하므로 전기소자를 사용할 때 발생 되는 추가 비용이 들지 않는다. 이러한 EPON은 현재 IEEE 802.3 EFM SG(Ethernet in the First Mile Study Group)에서 활발히 연구가 진행되고 있으며, 차세대 가입자 망의 가장 유력한 대안으로 떠오르고 있다[4].

EPON이 동작하기 위해 배치(Ranging) 프로토콜과 MAC 프로토콜이라는 두 가지 핵심 기술이 요구된다. 첫번째, 배치 프로토콜은 ONU들이 OLT에게 트래픽을 전송할 때, 매체가 공유되는 구간에서 충돌을 방지하기 위해 서로 다른 위치에 있는 ONU들을 가상적으로 동일한 위치에 배치하는 기능을 수행하는 프로토콜이다[5]. 두번째, MAC 프로토콜은 매체를 공유하는 ONU들간의 통신을 허용하기 위해서 매체 접근을 제어하는 프로토콜을 말한다.

본 논문에서는 EPON에 적합한 TDMA 방식의 MAC 프로토콜을 제안하고, OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 설계하고 구현한다. 그리고, 실험한 결과를 분석하여 제안한 EPON MAC 프로토콜의 우수성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EPON의 구조에 대해서 설명하고, 3장에서는 EPON에 적합한 MAC 프로토콜을 제안한다. 4장에서 OPNET에서 설계한 EPON 모델들을 설명하고, 5장에서는 시뮬레이션 및 결과분석에 대해 살펴본다. 마지막으로 6장에서는 결론을 내린다.

2. EPON의 구조

그림 1은 IEEE 802.3 EFM SG에서 제시한 EPON 시스템 구성을 나타내고 있다. OLT와 ONU는 PSC(Passive Star Coupler)의 양단(End Point)에 위치하고 각각은 광섬유로 연결되어 있다. PON은 광신호의 전달방향에 따라 PSC에 의해 여러 개의 동일한 광신호로 분배되거나 하나의 신호로 합쳐

지게 된다. PSC는 별도의 전력공급이 필요 없는 수동 소자이기 때문에 PON을 구성할 때 설치 및 유지 보수 비용이 적게 드는 장점이 있다. 또한, OLT와 ONU들은 점 대 다점 형태로 연결되어 있기 때문에 점 대 점 형태보다 광섬유를 설치하는 비용이 저렴하다.

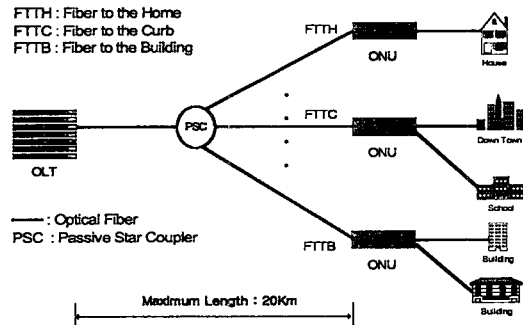


그림 1. EPON의 구조

그림 2는 각 ONU들이 OLT에게 데이터를 전달하는 방식을 나타낸다. 상향 트래픽은 각 ONU들이 다른 ONU 데이터와의 전송 충돌을 피하기 위해, 각자에게 주어진 타임 슬롯 상으로 데이터를 전달하는 TDMA 방식을 사용한다. EPON에서 사용하는 데이터는 IEEE 802.3 프레임으로 가변 길이이다.

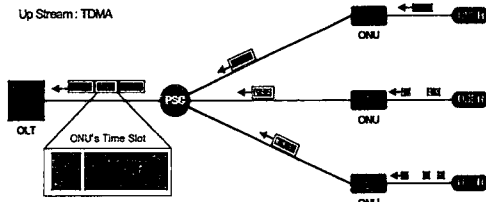


그림 2. EPON의 상향 트래픽 흐름

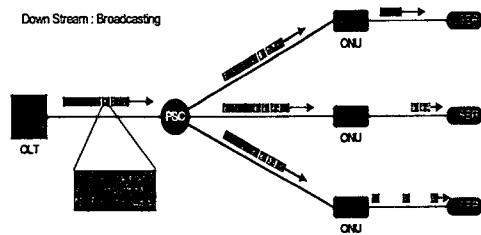


그림 3. EPON의 하향 트래픽 흐름

그림 3은 여러 개의 ONU가 OLT에게 데이터를 전달하는 과정을 나타낸다. 하향 트래픽은 OLT로부터 ONU까지 브로드캐스팅(Broadcasting)된다. 각 패킷들은 목적지 ONU 주소를 가지고 있으므로 각 ONU는 자신에게 해당되는 패킷만 받고 나머지 패킷들은 파기시킨다.

3. EPON에 적합한 MAC 프로토콜의 제안

본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 OLT와 ONU들 사이에 배치가 완료된 상태라고 가정한다. 현재 IEEE 802.3 EFM에서 EPON을 위한 MAC 프로토콜로서 고려하고 있는 것은 고정 슬롯 할당 방식의 TDMA이다. 하지만, 가입자 망의 트래픽의 특성상 고정 슬롯 할당 방식으로 각 ONU에게 슬롯을 할당하게 되면 링크의 효율이 급격히 떨어지게 된다. 이러한 단점을 보완하여 본 논문에서는 동적 가변 슬롯 할당 방식을 이용한 TDMA MAC 프로토콜을 제안한다.

제안한 MAC 프로토콜은 상향 트래픽(Upstream)을 위해 ONU가 고정된 타임 슬롯을 차지하고 있는 것이 아니라, OLT의 GDP에 따라 ONU가 요구하는 대역을 동적으로 할당한다. 즉, ONU는 자신이 현재에 필요한 타임 슬롯 정보를 OLT에게 보내고, OLT는 그러한 정보를 ONU에게 받아서 타임 슬롯을 할당하는 방식이다. 각 ONU에게 할당되는 타임 슬롯의 최대 길이는 고정 슬롯 할당 방식의 슬롯 길이와 동일하다. 따라서, 전체적인 프레임 길이가 최대일 때 고정 슬롯 할당 방식과 동일하지만, 일부 ONU가 데이터 전송을 하지 않을 때는 그만큼의 타임 슬롯을 할당하지 않기 때문에 더 효율적이다. 실제 가입자 망의 특성상 상향 트래픽을 전송하지 않는 ONU가 상대적으로 많기 때문에 고정 슬롯 할당 방식의 TDMA MAC 프로토콜보다 우수한 망 효율을 가질 수 있다

그림 4는 제안한 프로토콜에서 메시지를 전달하는 절차를 나타내고, 표 1은 메시지 송·수신 절차를 나타낸다.

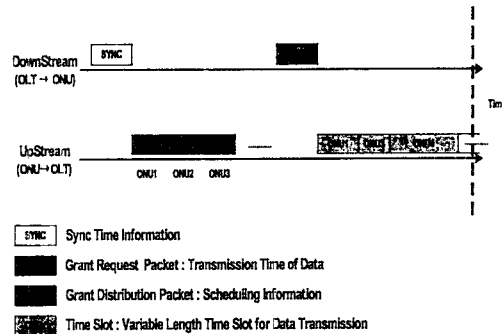


그림 4. EPON의 메시지 처리 절차

표 1. OLT와 ONU간의 메시지 송·수신 절차

순서	출발지	목적지	패킷 종류 및 설명
1	OLT	ONU	SYNC : ONU가 자신의 GRP를 보낼 수 있는 타임 슬롯 정보
2	ONU	OLT	GRP : ONU가 데이터를 전송하기 위해 필요한 시간
3	OLT	ONU	GDP : ONU가 OLT에 데이터를 전송할 시간정보
4	ONU	OLT	IEEE 802.3 Frame : 데이터 패킷 전송

4. OPNET에서 설계한 EPON 모델

OPNET은 네트워크 시뮬레이션 모델을 개발하고 분석하기 위한 개발 도구로서 실제 장비업체에서 개발한 각종 장비에 대한 모델을 제공하며, 사용자가 직접 필요한 모델을 개발

할 수도 있다. 이러한 모델을 이용하여 여러 망을 구축한 결과를 실제 망에 직접 적용할 수 있도록 도와준다[6].

그림 5는 전체적인 EPON 망과 OLT의 노드 모델 그리고 본 논문에서 제안한 TDMA MAC 프로토콜로 설계된 OLT 버퍼 프로세스(Buffer Process) 모델을 나타낸다.

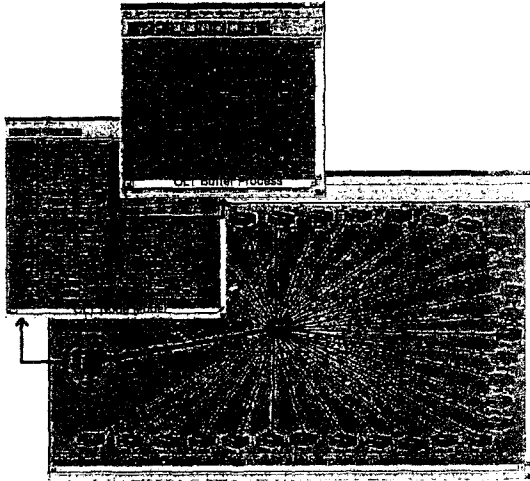


그림 5. Ethernet PON 모델

그림 6은 OLT에서 제어 패킷을 송·수신하는 부분의 소스 코드를 나타낸다.

```

start
  PActive
  double
  int
  if(s_send_to_ONUs == SYNC) //Time Sync FLOAM
    OAMpkt = op_pk_create_pkt("EPON_FLOAM");
    da_ptr
    -extract FLOAM -> op_pkt_send_all_ofs(extract FLOAM);
    sprintf(da_ptr->info, "CW", s_send_to_ONUs + GUARD_TIME);
    op_pk_pkts(OAMpkt, "EPLOAM", da_ptr,
      op_pkt_send_copy_create,
      op_pkt_send_send, s_send_to_ONUs);
    for(i=1; i<=NUM_ONUs; i++)
    {
      op_pkt = op_pk_copy(OAMpkt);
      op_pk_send(op_pkt, i);
    }
    s_send_to_ONUs = SCHEDULE;
  else //SCHEDULE FLOAM
    OAMpkt = op_pk_create_pkt("EPON_FLOAM");
    da_ptr
    -extract FLOAM -> op_pkt_send_all_ofs(extract FLOAM);
    sprintf(da_ptr->info, "SW", op_pkt_send_send + GUARD_TIME, s_send_to_ONUs);
    op_pk_pkts(OAMpkt, "EPLOAM", da_ptr,
      op_pkt_send_copy_create,
      op_pkt_send_send, s_send_to_ONUs);
    for(i=1; i<=NUM_ONUs; i++)
    {
      op_pkt = op_pk_copy(OAMpkt);
      op_pk_send(op_pkt, i);
    }
    sum = op_pkt_send_send + GUARD_TIME;
    for(i=1; i<=NUM_ONUs; i++)
    {
      sum += s_send_to_ONUs[i];
    }
    op_pkt_send_send = sum;
    s_send_to_ONUs = SYNC;
  
```

그림 6. OLT Buffer Process의 제어 패킷 전송부분

5. 실험결과 및 분석

본 장에서는 제안한 MAC 프로토콜을 적용한 EPON 모델을 OPNET 기반에서 실험한 결과를 기술하고 분석한다. 실험을 위한 파라미터는 표 2에서 보여준다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	적용
트래픽 발생률	Variable Bit Rate
링크 전송률	1Gbps
ONU개수	최대 32
OLT와 ONU 거리	최대 20Km
Slot Size	최대 250 μ s

그림 7은 EFM에서 고려 중인 고정 슬롯 할당 TDMA 방식과 본 논문에서 제안한 TDMA 방식의 MAC 프로토콜에 대한 ETE 지연(End to End Delay) 평균 변화를 측정 한 결과이다.

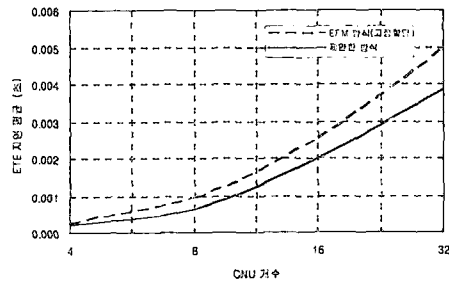


그림 7. ONU 개수 변화에 따른 ETE 지연 평균

고정 슬롯 할당 방식에 비해 제안한 방식은 ONU 개수가 늘어날수록 평균 ETE 지연값이 20% 감소됨을 알 수 있다. 이러한 이유는 가입자 망의 특성상 데이터 송·수신에 참여하는 ONU의 개수가 상대적으로 적고, ONU들이 데이터를 송·수신하기 위해 요구하는 대역폭이 최대 타임 슬롯의 크기보다 작기 때문이다.

6. 결론

본 논문에서는 차세대 가입자 망인 EPON에서 상향 트래픽을 제어하고 망의 효율을 높이기 위해, 동적 가변 슬롯 할당 방식을 이용한 TDMA MAC 프로토콜을 제안하였다. 가입자 망의 특성이 고려된 EPON MAC 프로토콜의 성능을 실제 망에 적용하기에 앞서 OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 그 타당성과 적합성을 실험하였다.

제안한 MAC 프로토콜은 EFM에서 활발히 연구하고 있는 EPON의 MAC 프로토콜 표준화에 좋은 참고 자료가 될 것으로 기대된다. 향후 연구과제로는 EPON을 위한 배치 프로토콜의 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 이수희, "Ethernet PON 기술", TTA 저널, No. 75, pp. 84-90.
- [2] <http://www.alloptic.com>, Alloptic Home Page.
- [3] M. Miyabe, M. KASA, K. TAJIMA, T. Shinomiya, and H. Yamashita, "A Study of Dynamic Bandwidth Allocations for ATM-PON," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no.12, pp.2364-2370, Dec, 1998.
- [4] <http://www.ieee802.org/3/efm>, IEEE 802.3 EFM. (Ethernet in the First Mile) Home Page.
- [5] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband Optical Access Systems Based on PON (Passive Optical Network)", Geneva, Oct., 1998.
- [6] <http://www.mil3.com>, OPNET Home Page.