

# OPNET을 이용한 Ethernet PON에서의 WDM 방식의 가변 TDMA MAC 프로토콜의 설계 및 구현

정민석<sup>0</sup>, 장용석<sup>\*</sup>, 엄중훈<sup>\*\*</sup>, 조정현<sup>\*\*\*</sup>, 김승호<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>경북대학교 컴퓨터공학과, <sup>\*\*</sup>KT 통신망연구소, <sup>\*\*\*</sup>영남이공대학 컴퓨터정보기술제원

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

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

## Design and Implementation of variable TDMA MAC Protocol of WDM method on Ethernet PON Using OPNET

Min-Seok Jung<sup>0</sup>, Yong-Seok Chang<sup>\*</sup>, Jonghoon Eom<sup>\*\*</sup>, Jung-Hyun Cho<sup>\*\*\*</sup>, Sung-Ho Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Computer Engineering, Kyungpook National University

<sup>\*\*</sup>Telecommunication Network Laboratory, KT

<sup>\*\*\*</sup>Division of Computer Technology, Youngnam College of Science and Technology

### 요 약

Ethernet PON(Passive Optical Network)에서 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 PON에서 상향으로의 대역폭 부족을 개선하기 위하여, n개의 파장을 사용한 가변 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)의 도입으로 인해 수 Tbps급까지 증가하고 있고, LAN 구간의 전송속도도 Ethernet을 기반으로 하여 10Mbps에서 10Gbps까지 향상 되고 있다. 반면 가입자 망에서는 xDSL이나 케이블 모델을 이용하여 전송 속도가 향상 되었으나 그 속도는 수 Mbps급에 그친다[1]. 그리고, xDSL은 국사(Central Office)에서 가입자망까지 거리의 제한 때문에 수요 밀집지역이 아닌 경우 전송속도가 현저히 저해된다.

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 하나의 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 용량의 확장이 어렵고 고비용을 요구하기 때문에 가입자 망으로 적용하기에 한계가 있다[2][3]. 반면 EPON은 저렴한 비용으로 최대 1Gbps 급의 대역폭을 각 ONU에게 제공하고, 전력 공급이 필요 없는 수동 광 분배기(POS: Passive Optical Splitter)를 사용하여 유지보수가 필요없다. 이러한 EPON은 현재 IEEE 802.3 EFM (Ethernet in the First Mile)에서 활발히 연구가

진행되고 있으며, 차세대 가입자 망의 가장 유력한 대안으로 떠오르고 있다[4].

EPON이 동작하기 위해서는 배치(Ranging) 프로토콜과 MAC 프로토콜이라는 두 가지 핵심 기술이 필요하다. EPON에서 하향 스트림(downstream)의 대역폭은 1Gbps이다. 그러나 상향 스트림(upstream)의 대역폭은 매체공유를 위해 각각의 ONU가 주어진 대역폭만을 사용함으로써 상향스트림으로의 대역폭이 부족하다. 본 논문에서는 EPON에서 상향스트림으로 대역폭 확장을 위해 n개의 파장을 사용한 가변 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 EPON에서 상향으로 n개의 파장을 사용시 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 EFM에서 제시한 EPON 시스템 구성이다. OLT와 ONU는 수동 광 분배기의 양단(End Point)에 위치하고 각각은 광섬유로 연결되어 있다. PON은 하향스트림으로 데이터가 전달될 때 수동광분배기를 통해 하나의 광

신호가 ONU 개수만큼의 광신호로 증가되어 각각의 ONU에게 전달된다. 이때 각 ONU는 타임슬롯의 ONU번호를 확인하여 자신의 번호와 일치하면 받아들이고 나머지는 파기한다. 반대로 ONU가 OLT에게 데이터를 보낼 경우는 여러 개의 ONU 신호가 수동광분배기를 통해 하나로 합쳐진다. 따라서 매체를 공유하기 위해 각 ONU에게 할당된 시간에 데이터를 전송하게 된다.

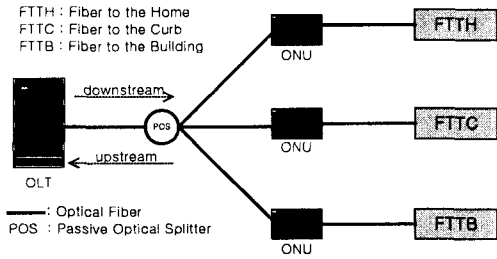


그림 1. EPON의 구조

### 3. 상향으로 n개의 파장을 사용시 적합한 MAC 프로토콜의 제안

EPON에서 하향스트림으로의 데이터 전송은 방송(broadcasting)의 특성을 활용해 각 ONU가 최대 1Gbps까지의 데이터를 수신할 수 있으나, 상향스트림으로 데이터를 전송할 경우 다른 ONU들과 대역폭을 분할해서 사용하기 때문에 대역폭이 부족하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 상향으로의 데이터 전송시 서로간에 간섭이 없는 n개의 파장을 사용함으로써 대역폭을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 OLT와 ONU들 사이에 배치가 완료된 상태이고 상향스트림으로 n개의 파장에 데이터를 전송하기 위해 ONU에는 n개의 파장을 전환(tunable)할 수 있는 1개의 송신기, OLT에는 n개의 파장을 받아들일 수 있는 n개의 수신기가 장착되어 있다고 가정한다. 반대로 하향스트림의 경우, OLT와 ONU에는 각각 1개의 파장을 전송할 수 있는 송신기와 1개의 파장을 받아들일 수 있는 수신기가 장착되어 있다고 가정한다.

현재 EPON의 MAC 프로토콜 표준화가 진행중이기 때문에 여러 통신 장비회사들은 자신에 맞는 방식으로 장비를 생산하고 있다. 즉, 고정 슬롯 할당 방식과 가변 슬롯 할당 방식이 공존하고 있는 것이다. 하지만 EFM의 표준화는 가변 슬롯 할당 방식으로 진행되고 있고, 가입자 망 트래픽의 특성을 고려해 볼 때 가변 길이의 패킷이 많이 발생하므로 고정 슬롯 할당 방식으로 각 ONU에게 슬롯을 할당하게 되면 링크의 효율이 떨어지게 된다. 이러한 단점은 가변 슬롯 할당 방식을 이용하여 개선할 수 있다.[5]

본 논문에서는 상향스트림으로의 대역폭 부족을 개선하기 위하여 n개의 파장을 사용한 가변 할당 방식의 TDMA MAC 프로토콜을 제안한다. 제안한 MAC 프로토콜에서 상향스트림의 타임슬롯을 가변적으로 할당하기 위해 OLT와 ONU간에 타임슬롯에 대한 정보교환이 이루어져야 한다. 정보교환 절차는 다음과 같다. ONU는 자신이 현재에 필요한 타임슬롯 개수를 GRP(Grant Request Packet)를 통해서 OLT에게 보낸다. 이 정보를 받은 OLT는 ONU들이 요구한 타임슬롯 개수를 바탕으로 각 ONU에게 가변적으로 타임슬롯을 하고, 이 정보를 GDP(Grant Distribution Packet)를 통해서 각 ONU에게 전달한다. 즉, OLT는 요구한 타임슬롯

개수를 ONU에게 받아서 타임슬롯을 할당하는 방식이다.

그림 2는 제안한 프로토콜에서 메시지를 전달하는 절차를 나타 내고, 표 1은 메시지 송·수신 절차를 나타낸다.

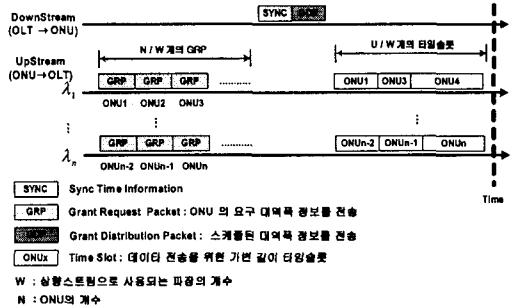


그림 2. 제안된 EPON의 메시지 처리 절차

표 1. OLT와 ONU간의 메시지 송·수신 절차

순서	출발지	목적지	패킷 종류 및 설명
1	ONU	OLT	GRP : ONU가 데이터를 전송하기 위해 필요한 대역폭 요구
2	OLT	ONU	SYNC : ONU와 OLT의 시간 동기화 GDP : ONU가 OLT에 데이터를 전송할 타임슬롯 할당 정보
3	ONU	OLT	IEEE 802.3 Frame : 데이터 패킷 전송

각 파장에 할당되는 타임슬롯의 최대 길이는 고정 슬롯 할당 방식의 슬롯 길이와 동일하다. 그래서 전송되는 프레임내의 타임슬롯이 가득찬 경우 타임슬롯을 고정적으로 할당하는 방식과 대역폭의 사용률은 같지만 일부의 ONU들이 데이터를 전송하지 않을 경우 비어 있는 슬롯을 다른 ONU에게 할당함으로써 대역폭의 사용률을 증가시킬 수 있다. 실제 가입자 망의 특성상 상황 트래픽을 전송하지 않는 ONU가 상대적으로 많기 때문에 고정 슬롯 할당 방식의 TDMA MAC 프로토콜보다 우수한 망 효율을 가질 수 있다.

제안한 MAC 프로토콜은 각 ONU의 데이터를 n개의 파장 중 한 파장에 가변적 타임슬롯으로 전송한다. 즉, 한 ONU의 데이터는 2개 이상의 파장에 분산되어 전송하지 않는다. 만약, 한 ONU의 데이터가 2개 이상의 파장에 분산되어 전송된다면, ONU의 송신기가 2개 이상의 파장으로 파장을 전환해야 하기 때문에 파장의 전환에서 생기는 지연(latency)을 처리해야한다. 이는 할당 알고리즘을 복잡하게 한다. 또한 여러 파장에 분산된 데이터를 병합하기 위한 부하(overhead)를 피할 수 없다. 한 ONU의 데이터를 하나의 파장에 전송하는 것으로 슬롯 할당 알고리즘의 복잡성은 감소되었지만, 반면에 OLT에서 각 ONU의 타임슬롯을 순차적으로 할당할 경우, 남은 슬롯의 개수와 요구한 슬롯의 개수가 상이하여 프레임내의 빈 슬롯이 생길 수 있다. 이 빈 슬롯은 상향스트림으로의 로드(load)가 적을때는 대역폭에 큰 영향을 끼치지 못하나 로드가 높아 질수록 상향스트림으로 대역폭의 낭비를 초래한다. 이를 해결하기 위해 그림 4와 같은 알고리즘으로 타임슬롯을 할당한다.

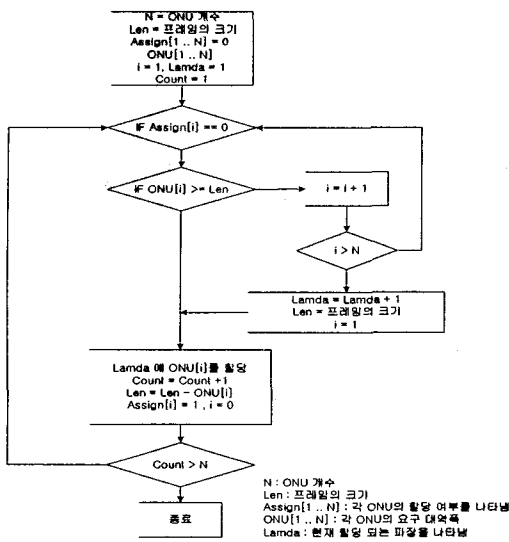


그림 3. 제안된 할당 알고리즘

그림 3은 2개의 파장에 ONU의 대역폭을 할당하는 알고리즘이다. 가변 길이로 대역폭을 할당할 때 후반에 할당 받는 ONU들의 기근 현상(starvation)을 없애기 위해 ONU[1..N]에는 상향스트림으로의 허용되는 총 대역폭을 요구 대역폭의 총 합으로 나눈 값을 각 ONU의 요구 대역폭에 곱하여 할당한다. 즉, 상향스트림으로 최대 대역폭보다 요구 대역폭의 총합이 클 때는 ONU에서 요구하는 대역폭 중 일부를 할당하는 것이다. 그림 4에서 N은 OLT에 연결된 ONU의 개수를 의미하고 Len은 한 파장에 대하여 상향스트림으로 한 번에 전송할 수 있는 프레임 크기, 즉 총 타임슬롯의 개수를 나타낸다. 제안한 할당 알고리즘은 순차적으로 ONU의 타임슬롯을 할당하지만 할당하는 슬롯 개수와 남은 개수가 맞지 않을 경우 아직 할당되지 않은 ONU중에서 최우선 방식(first fit)에 따라 타임슬롯을 할당하는 방식이다. 이를 위해 각 ONU의 할당 여부를 확인할 수 있는 변수 assign [1..N]이 필요하다. 이러한 스케줄링 방식은 순차적으로 타임슬롯을 할당할 경우 생기는 타임슬롯의 낭비를 줄일 수 있다.

5. 실험결과 및 분석

본 장에서는 제안한 MAC 프로토콜을 적용한 EPON 모델에 대해 OPNET 기반에서 실험한 결과를 기술하고 분석한다. OPNET은 네트워크 시뮬레이션 모델을 개발하고 분석하기 위한 개발 도구로서 실제 장비업체에서 개발한 각종 장비에 대한 모델을 제공하며, 사용자가 직접 필요한 모델을 개발할 수도 있다. 이러한 모델을 이용하여 여러 망을 구축한 결과를 실제 망에 직접 적용할 수 있도록 도와준다[6]. 표 2는 실험을 위한 파라미터이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	적용
파장수	상향 2, 하향 1
링크 전송률	1Gbps
ONU개수	32
OLT와 ONU 거리	최대 20Km
Slot Size	최대 250 $\mu$ s

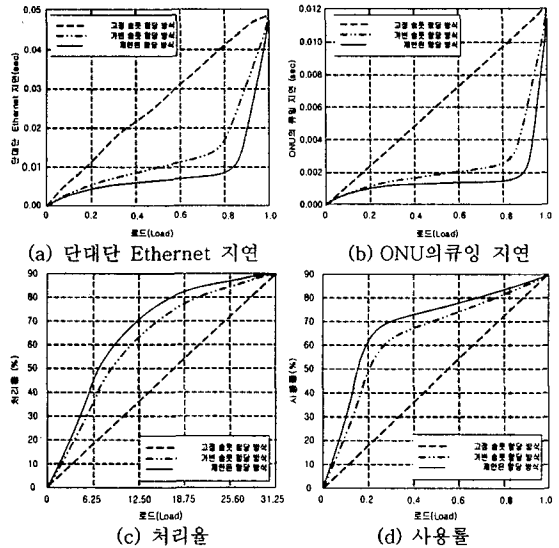


그림 4. ONU 개수 변화에 따른 ETE 지연 평균

그림 4은 표 2의 시뮬레이션 파라미터를 기반으로 고정 슬롯 할당 방식, 가변 슬롯 할당 방식과 제안된 할당 방식 MAC 프로토콜의 성능분석을 위하여 로드 변화에 따라 단대단 Ethernet 지연, 큐잉 지연, 처리량, 사용률을 시뮬레이션한 결과이다. 그림 4(a), (b), (c)와 (d)는 로드 증가에 따른 고정 슬롯 할당 방식, 가변 슬롯 할당 방식과 제안된 할당 방식의 단대단 Ethernet 지연, 큐잉 지연, 사용률과 처리율을 분석한 것으로 로드가 1.0을 초과하지 않는 범위에서 제안된 할당 방식이 우월함을 보여준다.

6. 결론

본 논문에서는 차세대 가입자 망인 EPON에서 상향 트래픽의 부족현상을 개선하기 위하여 파장을 확장하여 n개의 파장을 사용할 것을 제안하였고, 이를 제어하고 망의 효율을 높이기 위해 개선된 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. 향후 연구과제는 n개의 파장을 사용할 때 가장 효과적인 타임슬롯의 크기 선정이 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," IECCE 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] S. W. Jung, Y. S. Chang, J. H. Eom, and S. H. Kim, "Design and Implementation of Dynamic TDMA MAC Protocol for Ethernet PON Using OPNET", Optoelectronics and Communications Conference(OECC), 8-12
- [6] <http://www.mil3.com>, OPNET Home Page.