EPON의 상향 대역폭 파장 분할 방식을 이용한 파장 배정 방법

서창진*, 장용석**

Wavelength Assignment Method using Upstream Bandwidth Wavelength Division of EPON

Chang-Jin Seo*, Yong-Suk Jang**

요 약 본 논문에서는 EPON의 상향 대역폭 부족현상을 개선하기 위해 기존에 EPON의 상향 트래픽을 파장 분할 방식으로 확장한 모델을 설계하고 이에 적합한 파장 배정 방법을 제안한다. 시뮬레이션 모델은 OPNET으로 구현하며, 구현된 파장 분할 EPON 모델에 대해서 실험을 통하여 적절한 가중치를 산정하여, 단대단 지연(End to end delay), 처리율(Through put), 사용율(Utilization), 큐 크기, 타임슬롯 크기, 상향 스트림 크기 그리고 파장 배정 방법에 대한 성능분석을 통해서 제안된 방식의 우수성을 검증한다.

주제어 : EPON, Wavelength Assignment Method

Abstract In this paper, we addressed the problem of upstream bandwidth in EPONs. We presented a wavelength division EPON supporting QoS in the differentiated services framework. It was shown that the bandwidth allocation by priority scheduling, under our assumptions for traffic behavior, will result in an unexpected behavior for high priority class and we suggested the use of weighted priority scheduling to alleviate this problem. Our wavelength division EPON supporting QoS allocates effectively and fairly bandwidths and wavelengths between ONUs in the differentiated services framework. Moreover, we showed better performance in terms of average and maximum end-to-end delay, as well as network throughput, utilization compared with some other algorithms. We used simulation experiments to study the performance and validate the effectiveness of the proposed network and algorithm.

Key Words : EPON, Wavelength Assignment Method

1. 서론

현재 가입자 접속망은 전화국과 가입자간의 데이터전송 속도 및 거리제약으로 인하여 안정적인 멀티미디어 서비스 제공을 보장하지 못한다. 이러한 상황에서 반경 20Km내에 있는 가입자들을 FTTx의 형태로 연결할 수 있는 EPON(Ethernet Passive Optical Network)은 가입자 접속망에서 현저하게 떨어지는 속도 문제를 해결할 수 있다[1].

EPON은 전화국과 가입자 사이의 구간에서 사용되어지는 수동 광 네트워크이며, 최대 20km거리까지 운영될 수 있고 PON 구조 형태이므로 광선로 구성비용을 최소화 할 수 있다. 하지만 구조의 특성상 데이터를 전송할 경우 대역폭이 충분하지 않게 되며 대역폭의 부족현상이 발생 하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 상향 트래픽을 파장분할 형식으로 확장한 모델을 설계하고 이에 적합한 파장배정 방법을 제안한다.

EPON은 Point to Multipoint Ethernet Passive Optical Network 으로서 FTTH, FTTC, FTTB, FTTO 등의 구조로 구성되며 음성, 데이터, 비디오 등의 다양한

*성덕대학교
**㈜다울디엔에스
논문접수: 2012년 5월 16일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 5월 23일

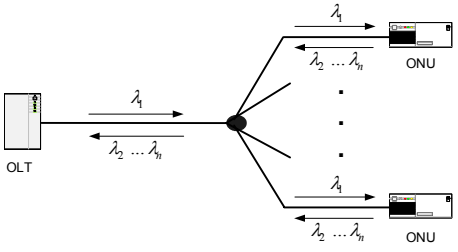
멀티미디어 서비스를 제공한다[2][3]. 그러나 이러한 우수성을 가진 EPON도 차후 안정적인 대용량 멀티미디어 서비스를 하기에는 부족한 문제점을 가지고 있다. EPON에서 모든 ONU가 수신할 수 있는 대역폭은 1Gbps지만 송신하기 위한 대역폭은 모든 ONU가 공유해야 하므로 부족하다. 따라서 EPON에서 문제가 되고 있는 부족한 상향 전송 대역폭을 확충하기 위해 우수한 EPON의 구조를 기반으로 하여 상향스트림을 파장 분할 방식으로 확장할 수 있는 파장 분할 EPON의 개발은 필수적이다[4].

본 논문에서는 EPON의 상향 대역폭 부족현상을 개선하기 위해 기존에 EPON의 상향 트래픽을 파장 분할 방식으로 확장한 모델을 설계하는 방식을 제안한다.

2. 파장분할 EPON

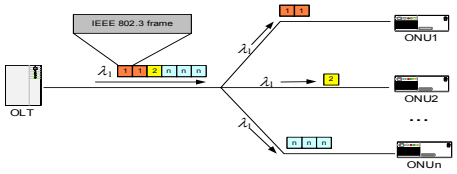
부족한 상향 스트림 대역폭 문제를 해결하기 위하여 $1.3\mu m$ 대의 파장을 n개의 파장으로 분할하여 사용하는 파장 분할 EPON 구성을 제안한다. 그러나 파장을 변경(tunable)할 수 있는 광 송수신기는 고가이고 OLT와 ONU가 모든 파장을 송수신 할 수 있는 광송수신기를 장착하게 되면 파장 분할 EPON은 많은 설치비용을 감수해야 한다.

이러한 파장 분할 EPON의 설치비용 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 [그림 2-1]과 같이 ONU는 파장을 변경 할 수 있는 광송신기와 단일 파장을 수신 할 수 있는 광수신기 만을 장착하고 OLT는 n개의 파장을 수신할 수 있는 광 수신기와 단일 파장을 사용하는 광송신기 만을 장착하는 파장 분할 EPON을 제안한다.

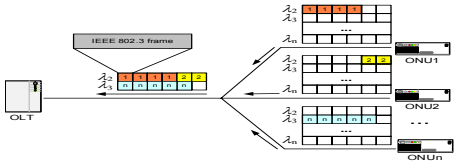


[그림 2-1] 제안된 파장 분할 EPON 모델

제안된 파장 분할 EPON 모델에서 하향 스트림 방식은 [그림 2-2](a)와 같이 EPON과 동일하게 하나의 파장을 사용하여 모든 ONU에게 방송되고 상향 스트림의 경우 [그림 2-2](b)에서 보는 것처럼 ONU는 여러 파장에 걸쳐 데이터를 송신하고 수동 광 분배기를 거치면서 각 파장별로 병합된다. 이때 각 ONU는 충돌 없이 매체를 공유하기 위해 파장별로 TDMA MAC 프로토콜에 의해 제어되고 물리적으로 거리가 다른 ONU들은 배치 과정을 거치면서 가상적으로 동일한 거리를 유지하게 된다.



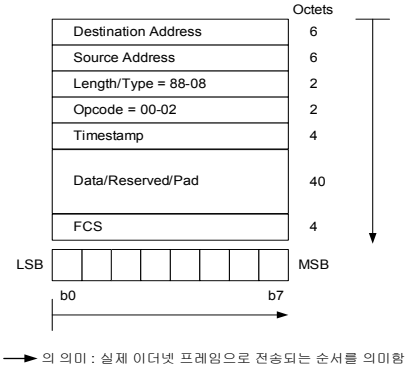
(a)



(b)

[그림 2-2] 파장 분할 EPON 스트림 방식

IEEE 802.3ah Task Force에서는 OLT와 ONU간의 데이터 전송을 중재하기 위해 TDMA 방식을 기본으로 하는 MPCP(Multi-Point Control Protocol) 중재 메커니즘을 표준화로 발표했다[5]. MPCP가 비록 어떤 특정한 방식의 대역폭 할당 방법을 고려하고 있지는 않지만 EPON에 여러 가지 할당 알고리즘을 구현할 수 있도록 제어 메시지 형식을 지정 해준다. MPCP는 데이터 링크 계층에서 서로 다른 ONU가 동시에 전송하는 것을 중재하기 위하여 양방향으로 메시지를 주고받는다[6].

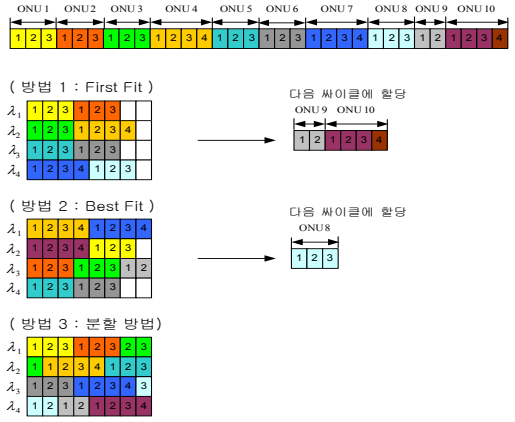


[그림 2-3] MPCP 메시지 형식

MPCP의 동작은 일반 모드와 자동 발견 모드(Auto discovery)로 나누어지며, 자동 발견 모드는 새롭게 연결되는 ONU를 인식하고 그 ONU의 RTT(Round-Trip Time) 지연 측정과 MAC 주소를 알기 위하여 동작하는 모드이고 일반 모드는 새롭게 연결되는 ONU가 없는 상태에서 ONU의 요구 대역폭 할당을 위해 동작하는 모드이다. 이러한 두 가지 동작 모드를 위한 MPCP 메시지의 일반적 구조는 [그림 2-3]과 같고, MPCP 메시지 크기는 이더넷 프레임의 가장 작은 크기인 64bytes이다[7][8].

3. EPON의 파장 배정 방법

대역폭 분할 파장 배정 방법을 수행하기 위해 필수적으로 OLT는 ONU로부터 고순위/저순위 트래픽에 대한 대역폭 요구량을 대역폭 요구정보 테이블에 기록해 두어야 한다. 기록과정이 수행되면 OLT는 요청된 고순위/저순위 트랙픽량을 합한 상향 스트림과 상향 전송 트래픽의 최대 대역폭에 대한 가용비율을 구한다, 그리고 이러한 최대 대역폭의 가용 비율을 참조하여, 파장 배정을 위해 필요한 파장 변경 기준값을 구한다.



[그림 3-1] 파장 배정 방법

대역폭 할당 방법과 할당된 대역폭을 전송 가능한 파장에 배정하는 통합 방법으로 [그림 3-1]과 같은 파장 배정 방법 3가지를 제시한다. [그림 3-1]에서 방법 1은 고속의 백본 망에서 가장 많이 사용하는 First Fit 방법이다. 이 방법을 가입자 접속망인 파장 분할 EPON에 적용 시킨다면 [그림 3-1]과 같이 9번 ONU와 10번 ONU에 할당될 대역폭은 현재 사이클 내에 여분 대역폭이 존재 하지만, 외부 단편화로 인해 다음 사이클로 연기되는 문제점을 가진다. 방법 2는 [그림 3-1]에서 방법 1의 문제점을 어느 정도 충족시킬 수 있는 Best Fit 방법이다. 하지만 이 방법 역시 8번째 ONU가 외부 단편화로 인해 다음 사이클로 연기되는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 배정될 파장에 대해서 대역폭을 분할 할 수 있는 방법 3을 제안한다. 방법 3은 각 ONU가 할당 받은 대역폭을 사용가능한 파장에 배정하기 위해 현재 배정 중인 파장이 부족할 시에 사용가능한 다음 파장에 배정 받지 못한 나머지 대역폭을 타임 슬롯 단위로 분할해서 순서를 재 정렬한 다음 파장을 배정하는 방법이다.

	ONU1	ONU2	ONU3	···	ONUn
고순위 트래픽 대역폭 요구량				···	
저순위 트래픽 대역폭 요구량				···	

[그림 3-2] 대역폭 요구 정보 테이블

제안한 통합 방법을 수행하기 위해 OLT는 필수적으로 [그림 3-2]과 같은 대역폭 요구 정보 테이블을 가지고 있어야 한다. OLT는 ONU로부터 REPORT 메시지로 대역폭 요청을 받으면 고순위 트래픽에 대한 대역폭 요구량 및 저 순위 트래픽에 대한 대역폭 요구량을 대역폭 요구 정보 테이블에 기록한다.

OLT에 있는 대역폭 요구 정보 테이블에 각각의 ONU의 대역폭 요구량을 기록하는 모든 과정이 수행되면, OLT는 대역폭 요구 정보 테이블을 참조하여 [그림 3-3]의 스케줄링 알고리즘을 이용하여 각각의 ONU에게 사용가능한 파장을 배정하고 적절한 대역폭을 할당한다.

Bandwidth Allocation • Wavelength Assignment $(B_{\max}, \psi, r_h, r_l, H^R_{sum}, L^R_{sum}, \tau, m)$

FOR $i = 1 : m$

IF $\psi \geq 1$ *THEN*

$B_i^G \leftarrow H_i^R + L_i^R$

ELSE

$B_i^G \leftarrow (B_{\max} \times r_h) \times \frac{H_i^R}{H_{sum}^R} + (B_{\max} \times r_l) \times \frac{L_i^R}{L_{sum}^R}$

CALL Weighted Bandwidth Allocation $(B_i^G, H_i^G, L_i^G, H_i^R, L_i^R, w)$

ENDIF

$\delta \leftarrow \delta + B_i^G$

IF $\delta < \tau$ *THEN*

$\lambda_c \leftarrow B_i^G$

ELSE

$\lambda_c \leftarrow B_i^G - (\delta - \tau)$

$c \leftarrow c + 1$

$\lambda_c \leftarrow (\delta - \tau)$

$\delta \leftarrow \delta - \tau$

ENDIF

END FOR

[그림 3-3] 대역폭 할당 방법 및 파장 배정 방법

4. 성능 분석

망 모델을 설계하고 분석함에 있어서 적절한 트래픽을 생성하여 시뮬레이션하는 것은 신뢰성 있는 결과 분석을 위해 매우 중요하다.

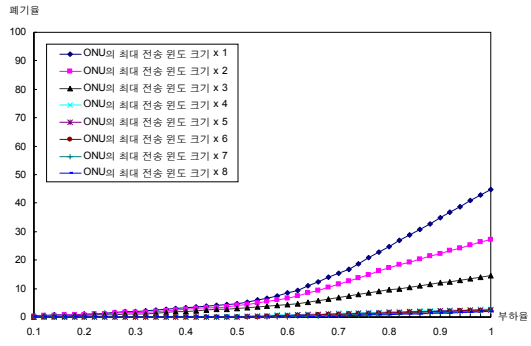
제안된 파장 배정 방법에 대한 사용율과 분배율 실험을 통하여 제안된 파장 분할 EPON의 우수성을 검증한다. 실험을 위해 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율을 1:1(EF:AF:BE=1:1:2)로 하였다.

파장 분할 EPON에서 적절한 큐 크기의 산출은 장비를 설계하는데 있어 중요한 역할을 한다. 왜냐하면, 장비를 설계하기 이전에 실제 네트워크와 유사한 상황의 시뮬레이션으로 큐 크기를 분석한다면 분석된 결과를 토대로 장비를 설계하여 불필요한 경비를 줄일 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 트래픽 부하율에 따른 적절한 큐 크기를 분석하기 위해서 ONU의 최대 전송 윈도 크기와 트래픽 부하율 증가에 따른 큐 크기를 산출했다.

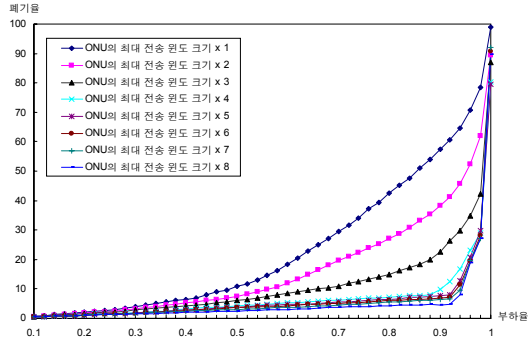
[그림 4-1]은 파장 분할 EPON에서 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 폐기율을 나타낸다. [그림 4-1](a)는 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1일 때 부하율의 증가와 큐 크기가 ONU의 최대 전송 윈도 배수로 증가함에 따른 고순위 트래픽의 폐기율을 보여주고, [그림 4-1](b)는 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1일 때 부하율의 증가와 큐 크기가 ONU의 최대 전송 윈도 배수로 증가함에 따른 저순위 트래픽의 폐기율을 나타낸다.

[그림 4-1](a)와 [그림 4-1](b)에서 알 수 있듯이 부하율이 0.4 이하일 때는 큐 크기가 ONU 최대 전송 윈도 크기의 1배 정도도 충분하지만 부하율이 0.4 이상일 때는 큐가 ONU 최대 전송 윈도 4배 정도 크기를 가질 때, 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 폐기율이 안정적임을 알 수 있다. 이러한 큐 크기에 대한 실험 결과를 기반으로 하여 저순위 트래픽과 고순위 트래픽을 어느 정도 수용할 수 있는 큐 크기를 산정할 수 있으며, 파장 분할 EPON에서 ONU 장비를 설계하기 이전에 분석된 큐 크기에 대한 결과를 토대로 장비를 설계한다면 불필요한 경비를 줄일 수 있을 것이다.

[그림 4-2]는 제안된 파장 배정 방법에 대한 파장 사용률을 나타낸다. [그림 4-2]에서 볼 수 있듯이 파장 분할 EPON에서 사용하는 파장 수와 부하율이 증가할수록 사용률은 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 사용률 측면에서 볼 때 부하율 1에서 90%정도 사용률을 보이는 것은 우수한 망이라는 판단을 할 수 있다. 따라서 제안된 파장 배정 방법은 사용률 측면에서 있어서 우수하다고 할 수 있다.

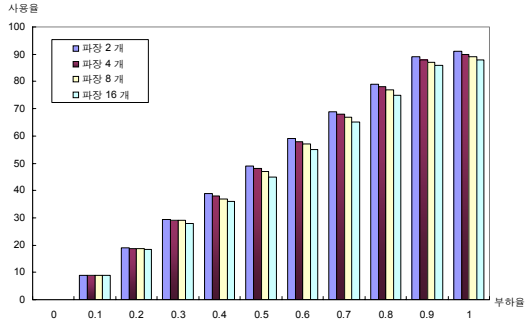


(a) 고순위 트래픽의 폐기율



(b) 저순위 트래픽의 폐기율

[그림 4-1] 큐 크기에 따른 트래픽의 폐기율



[그림 4-2] 파장 사용률

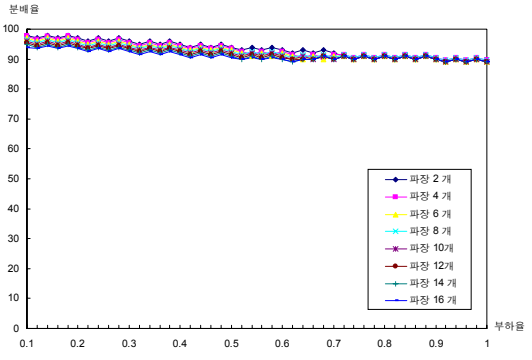
[그림 4-3]은 제안된 파장 배정 방법에 대한 파장 분배율을 나타낸다. 파장 분배율이란 파장 분할 EPON 망

에서 사용 가능한 모든 파장이 고르게 분배되는가에 대한 척도이다. 파장이 고르게 할당된다는 것은 상향 스트림 주기가 짧아 질 수 있다는 것을 의미하고 상향 스트림 주기가 짧아진다는 것은 더 많은 트래픽을 상향으로 보낼 수 있다는 것을 나타낸다. 본 논문에서는 분배율을 측정하기 위해 식 (4-1)과 같은 방법을 사용한다. 식 (4-1)에서 λ_i는 i번째 파장을 사용해서 전송되는 트래픽 양을 의미하고 TL, N은 전체 상향 트래픽 양과 파장 개수를 나타낸다.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{(TL/n)}}{n} \qquad (4\text{-}1)$$

[그림 4-3]에서 볼 수 있듯이 파장 분할 EPON에서 사용하는 파장 수와 부하율이 증가할수록 분배율은 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만 분배율 측면에서 볼 때 부하율 증가와 사용 파장 증가에 상관없이 90% 이상의 분배율을 나타내는 것은 본 논문에서 제안한 파장 배정 알고리즘이 사용 가능한 파장을 고르게 할당 한다는 것을 의미한다.

이것은 부하율이 1에 근접하지 않을 때는 상향 스트림 주기가 짧아 질 수 있다 것을 의미하고 상향 스트림 주기가 짧아진다는 것은 임의의 정해진 기간을 살펴 볼 때 더 많은 트래픽을 상향으로 보낼 수 있다는 것을 뜻한다. 본 장에서 실험한 성능 분석은 제안한 파장 분할 EPON 모델을 실제 망에 설치할 때 적합한 파라미터로 이용할 수 있을 것으로 기대한다.



[그림 4-3] 파장 분배율

5. 결 론

EPON 기술은 차세대 가입자 접속망의 대안이라 할 수 있다. 그러나 EPON은 하향으로 최대 1Gbps 전송 대역폭을 사용할 수 있지만 상향으로는 각각의 ONU가 대역폭을 나누어 사용함으로써 대역폭 부족현상은 여전히 발생한다. 본 논문에서는 이러한 EPON의 상향 대역폭 부족현상을 개선하기 위해 기존에 EPON의 상향 트래픽을 파장 분할 방식으로 확장한 모델을 설계하였다.

제안된 파장 분할 EPON은 기존에 설치되어 있는 채널을 그대로 활용하면서 상향 대역폭의 확장을 가져올 수 있다. 이는 광통신에서 대역폭 확장이라는 단순한 문제가 아니라, 증가하는 멀티미디어 데이터를 수용할 수 있는 해결책이 될 수 있다.

향후 대역폭이 10Gbps 이상일 때의 EPON 성능에 대한 연구가 필요하고, 하향 트래픽에 파장 분할 방식을 적용했을 때 망의 성능을 최대화시킬 수 있는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] G. Kramer, B. Mukherjee, S.Dixit, Y.YeandR. Hirth,"On supporting differentiated classes of service in EPON-based access network," Journal of Optical Networks, pp.280-298, May2002.

[2] G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network," IEEE Communications Magazine, Vol.40, Issue2, pp.66-73, Feb.2002.

[3] M. Listanti, V. Eramo and R. Sabella, "Architectural and Technological Issues for Future Optical Internet Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.38, Issue9, pp.82-92, Sep.2000.

[4] 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," OECC2002,pp.208-209,July2002.

[5] http://www.ieee802.org/3/efm/, IEEE 802.3ah Task Force Home Page.

[6] M. Ma, Y. Zhu and T. H. Cheng, "A bandwidth

guaranteed polling MAC protocol for Ethernet passive optical networks," IEEE INFOCOM, SanFrancisco, pp.22-31, Mar. 2003.

[7] Y. S. Jang, C. G. Choi, J. H. Eom and S. H. Kim, "Bandwidth Allocation Method by Service for EPON," OECC2003,pp.13-16,Oct.2003.

[8] Y. S. Chang, C. G. Choi, J. H. Eom and S. H. Kim, "Performance Analysis of MAC Protocol for EPON Using OPNET," Lecture Notes in ComputerScience 2713, pp.656-661, Sep.2003.

서 창 진

・2000년~현재 : 성덕대학교 교수
・2003년 8월 부산대학교 멀티미디어 공학박사
・1999년 2월 부산대학교 멀티미디어 이학석사
・관심분야: Multimedia, E-Learning, Artificial Vision, SNS, Wi-Fi
・E-Mail: cjseo@sdc.ac.kr

장 용 석

・2010년 ㈜다울디엔에스 대표이사
・2007년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 공학 박사
・2001년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 공학 석사
・관심분야: Ethernet Passive Optical Network, Multimedia Data Processing, Wireless Network, Wi-Fi Service
・E-Mail: ysjang@daooldns.co.kr