

TDM-PON에서 동적 WDM 채널 및 대역폭 할당을 위한 MAC 프로토콜 설계 연구

정희원 이성근*, 김일래*, 이용원*, 이상록**,
정희원 정대광***, 황성택***, 오윤제***, 종신회원 박진우*

A Design of MAC Protocol for Dynamic WDM Channel and Bandwidth Allocation in TDM-PON

Sungkuen Lee*, Eallae Kim*, Yongwon Lee*, Sangrok Lee**, Daekwang Jung*** *Regular Members*,
Seongtaek Hwang***, Yunje Oh*** *Regular Members*, Jinwoo Park* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 수동형 파워분배기 기반의 TDM-PON 망 구조에서 WDM 파장채널과 전송 대역폭을 동적으로 운용하는 가입자망 구조를 제안하고, 가입자의 수를 확대하고 대역폭 활용의 효율성을 증가시킬 수 있는 동적 MAC 프로토콜을 제안하였다. 이를 위하여 OLT와 ONU 사이에 별도의 제어채널을 마련하고, 정보 전송에 요구되는 QoS의 수준과 정보량에 따라 파장채널과 데이터 전송 시간슬롯을 동적으로 운용하도록 하였다. 제안된 가입자망의 성능 평가는 수식적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 이루어졌으며, 특히 다양한 트래픽 환경에서 제안된 가입자망 구조의 성능향상 정도를 기존 PON들과 비교 및 분석을 하였다.

Key Words : Passive Optical Network (PON), Dynamic Bandwidth Allocation (DBA), Time Division Multiplexing (TDM), Wavelength Division Multiplexing (WDM)

ABSTRACT

In this paper, we propose the PON-based access network based on conventional TDM-PON architecture, which utilizes WDM wavelength channel and bandwidth dynamically. It is also described a dynamic MAC protocol in order to increase the number of subscribers and efficiency of resource utilization. Of particular importance in the proposed approach for MAC protocol is that the wavelength channel and time slot for up/downlink is dynamically allocated according to the required QoS level and the amount of data in data transmission, through the dedicated control channel between OLT and ONU. We evaluate the performance of average packet end-to-end delay in a statistical analysis and numerical analysis. In addition, through simulations with various traffic models, we verified the superior performance of the proposed approach by comparing with the results of other E-PONs.

I. 서 론

최근 급속도로 증가하는 인터넷 수요와 VoD

(Video on Demand), HDTV (High Definition TV), 그리고 양방향 비디오 회의와 같은 다양한 멀티미디어 서비스와 어플리케이션 등을 수용하기 위하여

※ 본 연구는 삼성전자와 고려대학교 IT연구센터(ITRC)의 지원으로 수행되었습니다.

* 고려대학교 전자컴퓨터공학과 차세대 네트워크 연구실 (food2131@korea.ac.kr)

** 신홍대학 전자통신과 (srlee@shc.ac.kr), *** 삼성전자 통신연구소 방송통신기술랩 (dkjung96@samsung.com)

논문번호 : KICS2006-03-132, 접수일자 : 2006년 3월 17일, 최종논문접수일자 : 2006년 9월 11일

서비스의 품질을 보장하며 광 대역 서비스를 제공할 수 있는 광 가입자 망 개발이 요구되고 있다. 이러한 광 가입자 망을 구현하는 궁극적인 기술로서, 가정 내내까지 광섬유를 포설하여 광대역 대역폭을 제공하는 다양한 FTTH(Fiber-to-the-home) 기술, 특히 단순한 수동소자의 사용으로 경제성이 우수한 PON 기술이 크게 발전되고 있다^{1), 2)}.

PON 기반의 초고속 광 가입자 망은 시분할 다중화(TDM), 파장분할 다중화(WDM) 그리고 부반송파 다중화(SCM) 기술 등의 다중접속 방식에 구분할 수 있다. TDM-PON 방식에서는 하나의 파장 채널의 대역폭을 다수의 광 가입자 장치(ONU)가 채널제어 MAC 알고리즘을 통하여 공유하도록 하는데, 주어진 채널대역폭을 가장 경제적으로 그리고 효율적으로 활용할 수 있다는 점에서 주목을 받아왔다³⁻⁵⁾. 그러나 TDM-PON의 상향채널(uplink)이 가입자 수의 증가에 따라 전송 대역폭이 제한될 수 있다는 단점과 광 대역 인터넷 멀티미디어 서비스에서 발생하는 버스트(burst) 형의 트래픽을 원활하게 수용하기에 한계가 있다. 특히, 가입자 수가 크게 증가할 경우에 같은 지역에 새로운 가입자 망을 중복해서 설치해야 한다는 망 확장성 측면에서 한계를 가진다. 이러한 TDM-PON의 제한 점을 극복하기 위해서, 채널의 전송 속도를 증가시키거나 전송 프로토콜 또는 MAC 프로토콜의 효율성을 개선하는 방법들이 논의되고 있으나, 이러한 방법들 역시 궁극적인 해결책을 제시하지 못한다⁶⁾.

이러한 TDM-PON에 대응하여, 다수의 파장채널을 마련하고 각각 가입자에게 특정 파장 채널 하나씩을 할당함으로써 가입자당 무한대의 대역폭을 제공할 수 있는 WDM-PON이 부각되었다.

WDM-PON은 하나의 ONU와 중앙국에 위치한 광전송단말기 (OLT) 간에 고유한 파장채널을 할당함으로써, 양측간에 가상의 P2P연결을 설정하여 무한한 대역폭을 제공할 수 있고, 전송신호의 형식에 무관하고, 보안성이 우수하다는 명확한 장점으로 인해 궁극적인 가입자 망 구조로 인정받고 있다. 그러나, WDM-PON의 실제적인 구현에 있어서 다파장 광원의 성능제한과 높은 가격, 가용 파장채널의 수에 따라 제한되는 가입자의 수, AWG (array waveguide) 기반의 고가 WDM MUX/DEMUX 장치의 유지 및 운영의 어려움과 특히, 현재 시점에서의 파장채널의 대역폭 활용성 제한 등으로 인해 현실적인 경제성이 미흡하다는 지적을 받고 있다^{7), 8)}.

본 논문에서는 기존의 TDM-PON 망이 갖는 대

역폭 제한요소를 완화시키면서, 현재 설치되어 운용 중이거나 또는 설치될 TDM-PON망의 유연성과 확장성을 개선하기 위하여, PON 가입자 망에다수의 WDM 파장채널과 타임슬롯 (time slot)를 효율적으로 운용할 수 있는 동적 자원할당 알고리즘을 포함한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 이를 위한 방법으로 OLT와 ONU 사이에 제어채널을 마련하여 파장 채널의 동적 제어 기능을 제공함으로써 망의 한정된 자원을 효율적으로 사용하며 가입자 망의 가입자 수를 증가시키고 서비스의 품질이 보장되는 다양한 광대역 서비스를 제공하고자 한다.

본 논문의 내용은 다음과 같다. 제 2장은 제안된 TDM 기반의 동적 WDM-PON의 시스템 구조와 동작을 알아본다. 제 3장은 수학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 구조의 성능을 분석한다. 제 4장은 이 논문을 결론 짓는다.

II. 제안된 광 가입자 망 구조 및 설계

본 장에서는 제안된 수동형 광분배기 기반의 동적 파장분할 다중화 방식의 광 가입자 망의 구조 및 데이터 전송 알고리즘에 대해 기술한다.

2.1 가입자 망 시스템 구조

그림 1은 제안된 광 가입자 망 시스템 구조를 보여준다. 제안된 망 시스템 구조는 기존의TDM-PON의 망 구조와 같이 RN (Remote node)에 수동형 파워분배기를 사용하는 트리 구조의 분산 토폴로지를 기반으로 한다 [9]. 또한, 여기에 WDM 기술을 이용하여 망 내에 다수의 파장 채널들을 활용함으로써 상/하향 데이터와 제어정보를 전송한다. 사용되는 파장 채널들은 하향 데이터 전송에 필요한 파장들 ($\lambda_{D1}, \lambda_{D2}, \dots, \lambda_{DN}$)과 상향 데이터 전송에 필요한 파장들 ($\lambda_{U1}, \lambda_{U2}, \dots, \lambda_{UN}$) 그리고 양방향 제어 정보 전송에 필요한 파장 (λ_C)으로 ONU 간의 동적 대역폭 할당에 관한 제어정보를 전송하는데 사용된다.

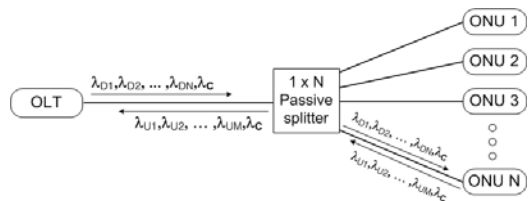


그림 1. 제안된 광 가입자 망의 시스템 구조도

2.2 OLT & ONU 구조 및 설계

제안된 가입자 망의 OLT 구조는 그림 2. (a)와 같다. OLT는 크게 네 부분으로 구성된다; 송신부, 수신부, 제어부 그리고 서비스 레벨 판정부. 송신부는 하향 데이터와 제어 정보 전송에 사용되는 하향 파장 채널 수만큼의 LD array를 가지며 모든 하향 데이터 및 제어 정보 전송을 담당한다. 또한, 수신부 역시 상향 파장 채널의 수만큼의 optical filter와 Receiver array를 가지고 ONU들로부터 상향 전송되는 모든 데이터와 제어 정보를 수신한다. 제어부는 OLT 구조 내의 다른 부분들을 제어할 뿐만 아니라 ONU들로부터 전송된 제어 정보를 이용하여 동적 대역폭 할당 (DBA)을 담당한다. 서비스 레벨 판정부는 전송할 데이터들의 QoS 수준에 따라 서비스 레벨을 결정하여 동적 대역폭 할당에 필요한 제어 정보를 제어부로 전송한다.

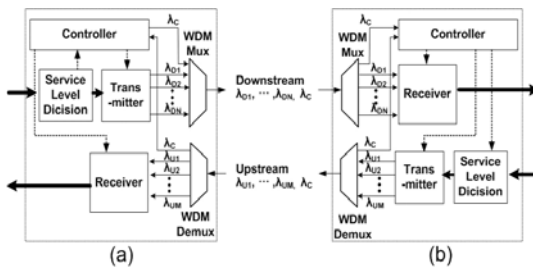


그림 2. OLT & ONU 구조도

ONU의 전반적인 구조는 OLT 구조와 유사하다. (그림 2. (b)) 그러나, ONU 구조는 데이터 파장 채널에 대해 송신부와 수신부에서 두 가지 대안을 생각할 수 있다. 먼저, OLT의 송신부와 수신부를 고정된 파장의 Tx와 Rx들의 array를 사용할 수 있다. 또는, 하나의 파장 가변 가능한 Tx와 Rx를 사용할 수 있다. 현재 파장 가변 가능한 Tx와 Rx의 기술이 상당히 성숙되어 있고 전자 보다 후자가 보다 경제적이기 때문에 본 논문에서는 후자의 방법을 사용하여 ONU를 구성하였다⁶⁾.

2.3 제어 프레임 구조

상/하향 데이터 전송 시, OLT와 ONU 사이에 사용되는 제어 프레임 구조는 그림 3과 같다. 제어 프레임은 일정한 간격의 주기 시간 (TC)을 가지고 반복되며 시간상에서 하나의 OLT가 수용하는 ONU 수와 동일한 세분화된 타임슬롯을 가진다. 또한, 세분화된 하나의 타임슬롯은 하나의 특정 ONU에 지정되어 할당된다. 각각의 타임슬롯에는 ONU가 데

이터를 송/수신하는데 필요한 제어 정보들 (파장 채널의 정보, 타임슬롯의 정보, 그리고 QoS 레벨 정보)이 포함된다. 따라서, OLT와 ONU는 이러한 제어 채널을 통하여 송/수신되는 제어 정보를 활용하여 OLT가 보유한 동적 대역폭 할당 알고리즘에 따라 ONU의 초기화 등록과정 및 상/하향 대역폭 할당 과정을 수행한다.

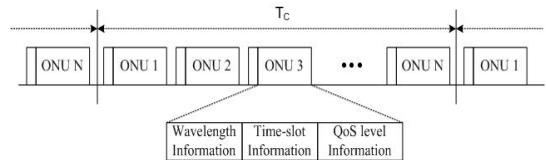


그림 3. 제어 프레임 구조

2.4 동적 대역폭 할당 알고리즘

점 대 다중 점 (P2MP) 구조를 가지는 제안된 망 구조에서 OLT와 ONU사이의 효율적인 상/하향 데이터 전송을 위하여 하나의 고정된 파장을 제어 정보 전송에 사용하는 동적 대역폭 할당 알고리즘을 제안하였다.

그림 4는 상/하향의 데이터 전송의 순서도이다. 하향 데이터 전송 (그림 4.a) 과정은 다음과 같다. 먼저, OLT는 기간 망으로부터 가입자 망으로 들어오는 데이터들의 QoS 수준에 따라 서비스 레벨을 결정한다. OLT는 결정된 서비스 레벨을 가지고 동적 대역폭 할당 알고리즘을 사용하여 각각의 데이터들에 대한 대역폭을 할당한다. 본 논문에서 사용된 동적 대역폭 할당 알고리즘은 다수의 데이터 파장 채널 중 가장 먼저 사용 가능한 파장과 타임슬롯을 결정한다. 그 후, OLT는 하향 데이터 전송 전에 제어 채널을 사용하여 각각의 ONU들에게 할당된 대역폭 할당 제어 정보를 미리 전송한다. 따라서, ONU들은 이러한 제어 정보를 바탕으로 자신에게 할당된 파장과 타임슬롯을 통해 하향 데이터를 수신한다.

상향 데이터 전송 (그림 4.b) 과정은 다음과 같다. ONU에 상향 전송할 데이터가 생기면 ONU는 전송할 데이터의 QoS 수준에 대한 제어 정보를 파장 제어 채널을 사용하여 OLT에게 전송한다. OLT는 ONU로부터 수신된 제어 정보를 바탕으로 동적 대역폭 할당 알고리즘에 따라 상향 데이터들의 대역폭을 결정하여 ONU에게 할당한다. 상향 데이터 전송에 사용되는 동적 대역폭 할당 알고리즘 역시 하향 데이터 전송에 사용되는 방식과 동일하게 다수의 상향 데이터 파장 채널 중 가장 먼저 사용 가

능한 파장과 타임슬롯을 ONU에게 할당한다.

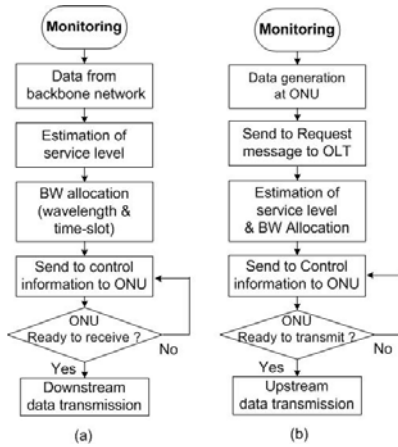


그림 4. 상/하향 데이터 전송 과정 순서도

III. 성능 분석

본 절에서는 제안된 TDM 기반의 동적 WDM-PON의 성능을 수학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 알아보고 기존의 PON들과 비교 분석한다.

3.1 수학적 성능 분석

3.1.1 환경 설정

성능분석 요소는 효율적인 상향 데이터 전송을 위한 제안된 동적 대역폭 할당 알고리즘 (MAC protocol)의 양단간 패킷의 평균 지연시간(Average

표 1. 네트워크 파라미터

| Parameter | Value |
|---|----------------|
| Upstream line rate, RD | 1 Gbps |
| Distance between OLT and ONUs (Propagation delay, TP) | 20 km (100 μs) |
| Control cycle time, TC | 200 μs |
| Data packet size, L (Poisson distribution with λ) | 1518 bytes |
| Control packet size | 64 bytes |
| Guard time, TGE | 1 μs |

packet end-to-end delay)이다. 수학적 분석에 대하여 하나의 상향 데이터 파장을 사용하여 16 ONU 들을 수용하는 시스템을 가정하였고 망에서 가정된 파라미터는 표 1과 같다.

3.1.2 양단간 패킷의 평균 지연 시간

양단간 패킷의 평균 지연시간은 식 (1)과 같이 3 개의 요소로 구성된다.

$$E[D_{ETE}] = E[D_T] + E[D_P] + E[D_Q] \quad (1)$$

여기서 평균 전송 지연시간($E[DT]$)은 데이터 프레임 내의 모든 bits이 전송될 때까지 소요되는 시간으로 채널의 BW와 데이터의 길이에 의해 결정된다. 본 분석에서 고정된 데이터 길이와 전송률 (Transmission rate)를 가정하므로 전송 지연시간은 일정한 상수가 된다. 평균 전파 지연시간($E[DP]$)은 ONU에서 OLT로 데이터가 전달될 때 걸리는 시간으로 OLT와 ONU간의 전송 거리를 20km으로 가정하므로 이에 대한 전파지연 시간 역시 100μs의 고정된 값을 가진다. 평균 큐잉 지연시간 ($E[DQ]$)은 ONU에서 데이터가 발생되고 OLT로 전송이 시작되기 전까지 큐에서 기다리는 지연 시간으로 정의된다. 식(1)의 3가지 요소 중 전송 지연시간과 전파 지연시간은 제안된 가정으로 고정된 상수 값을 가지며, 단지 큐잉 지연시간만이 변수가 된다. 따라서, 변수가 되는 큐잉 지연시간에 대해 발생한 데이터 량(λ)에 따라 두 개의 구간으로 구분하여 평균 지연시간을 분석한다^[10].

가. 데이터 량(λ)이 적은 경우

그림 5. (a)는 ONU가 3개 일 때, ONU에서 발생하는 데이터 량(λ)이 적은 경우의 상향 데이터 전송 과정을 보여준다. 하나의 컨트롤 주기 시간(TC) 동안에 각각의 ONU에서 발생하는 데이터 량이 적기 때문에 상향 데이터 채널 내에 빈 채널 공간이 생긴다. 이 때, 패킷의 평균 큐잉 지연시간은 패킷이 도착하여 OLT에게 Report 메시지를 보고할 때까지 기다리는 시간($E[DR]$)과 ONU가 OLT로부터 대역폭을 할당 받고 상향 데이터를 전송하기 전까지 기다리는 시간($E[DA]$) 그리고 하나의 ONU내에 i번째 패킷 보다 먼저 발생한 패킷들이 서비스 받는 시간($E[Dn]$)의 합으로 다음과 같이 정의된다.

$$E[D_Q] = E[D_R] + E[D_A] + E[D_n] \quad (2)$$

그림 5. (a)에서 보듯이, 컨트롤 주기 시간(TC) 동안에 패킷이 임의의 순간에 도착하므로 DR의 평균 값은 한 주기의 반인 TC/2가 된다. 또한, ONU

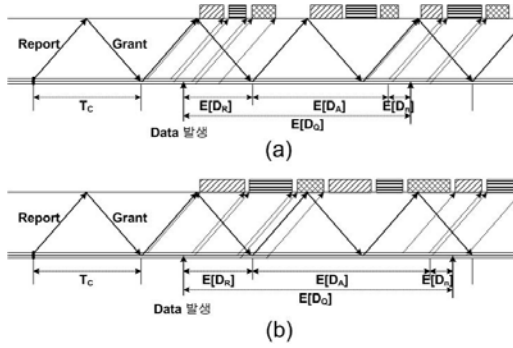


그림 5. 상향 데이터 전송 과정 (a)데이터 량이 작은 경우, (b)데이터 량이 많은 경우

가 상향 데이터를 전송하기 전까지 기다리는 시간은 OLT와 ONU간의 제어 정보 (Report 와 Grant message)를 주고 받는 시간(2 x DP)과 자신보다 전송 순서가 빠른 ONU들이 서비스 받을 때까지 기다리는 평균 시간(E[S_i])의 합으로 표현된다 (식 3.a). 여기서 한 컨트롤 주기 시간(TC) 동안에 각각의 ONU에 도착하는 패킷의 수는 λ x TC 이고, 각각의 ONU의 평균 서비스 시간은 한 주기에 발생한 데이터 량을 전송률로 나눈 값이 된다 (식 3.b).

$$E[S_i] = X_1 + X_1 + \dots + X_K + T_{CB} \quad (3.a)$$

$$= \rho T_C + T_{CB}$$

$$E[D_A] = 2 \times T_P + \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{N} (i) (E[S_i]) \quad (3.b)$$

만일 n이라는 값이 하나의 ONU 내에서 임의의 패킷이 발생하기 전에 먼저 발생한 패킷의 수를 나타낸다면, n의 평균 값은 컨트롤 주기 시간 동안에 도착한 패킷 수의 절반이 된다. 따라서, n의 평균 값은 1/2(λ x TC)가 되고 Dn의 평균 값은 식 (4)와 같다.

$$E[D_n] = \frac{n \times L}{R_D} = \frac{1}{2} (\rho T_C) \quad (4)$$

따라서, 위에서 정리한 식 (1)~(4)를 정리하여 패킷의 평균 큐잉 지연시간과 양단간 평균 지연시간을 정리하면 식 (5)와 (6)과 같다.

$$E[D_Q] = \frac{1}{2} \{ (\rho N + 1) T_C + (N - 1) T_{CB} \} + 2 T_P \quad (5)$$

$$E[D_{ETE}] = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{2} \{ (\rho N + 1) T_C + (N - 1) T_{CB} \} + 3 T_P \quad (6)$$

나. 데이터 량(λ)이 많은 경우

그림 5. (b)는 ONU가 3개 일 때, ONU에서 발생하는 데이터 량(λ)이 많아서 ONU간의 연속적인 상향 데이터 전송 과정을 보여준다. 패킷의 평균 큐잉 지연시간은 앞에서 정의한 식 (2)와 같다. 그러나 이전의 경우와 다른 점은 그림 5. (b)에서 보듯이 한 주기 동안 발생한 모든 ONU들의 데이터에 대한 서비스 시간이 OLT와 ONU간의 왕복 전파 지연시간(2 x DP) 보다 크기 때문에 다음 주기의 데이터 전송에 영향을 주게 된다. 따라서, ONU가 OLT로부터 대역폭을 할당 받고 상향 데이터를 전송하기 전까지 기다리는 시간 (E[DA])은 앞 장에서 살펴본 식 (3)에 이전 주기들의 영향으로 인한 추가의 지연시간 (E[DEXTRA])의 합으로 식 (7)과 같이 표현된다.

$$E[D'_A] = E[D_A] + E[D_{EXTRA}] \quad (7)$$

추가의 지연시간 (E[DEXTRA]) 을 구해보면 다음과 같다. 첫 주기의 추가 지연시간은 없다. 두 번째 주기의 데이터 전송에는 첫 번째 주기의 영향인 추가 지연시간이 존재한다. 또한, 세 번째 주기의 데이터 전송에는 첫 번째 주기와 두 번째 주기의 영향인 추가 지연시간이 존재한다. 따라서, 이러한 추가 지연 시간의 평균을 구해보면 식 (8)과 같고 식(7)에 대입하여 정리하면 식 (9)와 같다.

$$E[D_{EXTRA}] = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (D_{EXTRA-j}) \quad (8)$$

$$= \frac{(k-1)}{2} \{ (\rho N - 1) T_C + N T_{CB} \}$$

$$E[D'_A] = 2 T_P + \frac{(N-1)}{2} (\rho T_C + T_{CB}) \quad (9)$$

$$+ \frac{(k-1)}{2} \{ (\rho N - 1) T_C + N T_{CB} \}$$

따라서, 위에서 정리한 식 (7)~(9)를 정리하여 패킷의 평균 큐잉 지연시간과 양단간 평균 지연시간을 정리하면 식 (10)와 (11)과 같다.

$$E[D'_Q] = \frac{1}{2} \{ (\rho N + 1) T_C + (N - 1) T_{GB} \} + 2T_P + \frac{(k-1)}{2} \{ (\rho N - 1) T_C + NT_{GB} \} \quad (10)$$

$$E[D'_{ETE}] = \frac{1}{2} \{ (\rho N + 1) T_C + (N - 1) T_{GB} \} + \frac{1}{\mu} + 3T_P + \frac{(k-1)}{2} \{ (\rho N - 1) T_C + NT_{GB} \} \quad (11)$$

3.2 시뮬레이션 성능 분석

3.2.1 환경 설정

컴퓨터 시뮬레이션 모델은 OPNETTM 네트워크 시뮬레이터를 사용하였고 성능 분석 요소로 양단간 패킷의 평균 지연 시간을 구한다. 시뮬레이션 환경은 수식적 분석에서 가정 한 사항들과 같다(표 1).

본 시뮬레이션에서는 OLT가 하나의 상향 데이터 파장 채널을 사용하여 16 ONU들을 수용하는 경우와 다수의 상향 데이터 파장들을 사용하여 16 ONU 이상 (32 or 48)을 수용하는 경우에 대하여 균등/불균등한 트래픽 발생 환경에서 망의 성능을 측정한다. 즉, OLT가 16 ONU들을 수용할 때, 모든 ONU들이 같은 양의 트래픽을 발생하는 균등 트래픽 모델의 경우에 대한 망의 성능을 분석한다. 또한, OLT가 2 or 3의 상향 데이터 파장들을 사용하여 32 or 48 ONU들을 수용하는 경우에 대하여 불균등한 네트워크 트래픽 발생 환경을 다음과 같이 정

표 2. 불균등 네트워크 트래픽 모델

| | 파장 수(ONU 수) | 망 간의 트래픽 발생률 |
|--------|-------------|--------------|
| Case 1 | 2 (32 ONU) | 1 : 2 |
| Case 2 | 3 (48 ONU) | 1 : 1 : 2 |

의한다. 하나의 망 유닛이 16 ONU들로 구성된다고 가정할 때, 32 ONU들은 2개의 유닛 망으로, 48 ONU들은 3 개의 유닛 망으로 이루어진다. 이 때, 망 유닛간에 서로 다른 양의 데이터 트래픽이 발생하는 경우, 즉 트래픽이 특정한 유닛 망으로 편중되어 발생하는 경우를 고려하여 망의 성능을 분석한다(표 2).

3.2.2 성능분석 결과

그림 6은 균등 트래픽 발생 환경에서 양단간 평

균 패킷 지연시간의 성능을 수학적 분석과 시뮬레이션 결과를 통하여 비교하는 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이, 수학적 성능분석 결과와 시뮬레이션 결과가 상당히 일치함을 알 수 있고 두 분석 결과 모두 네

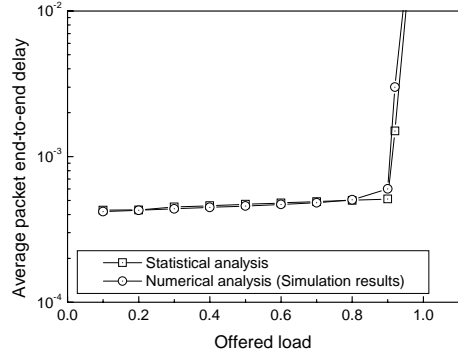
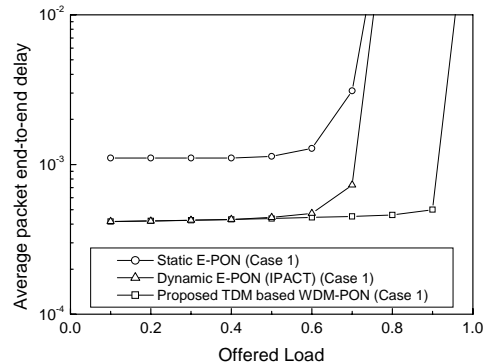
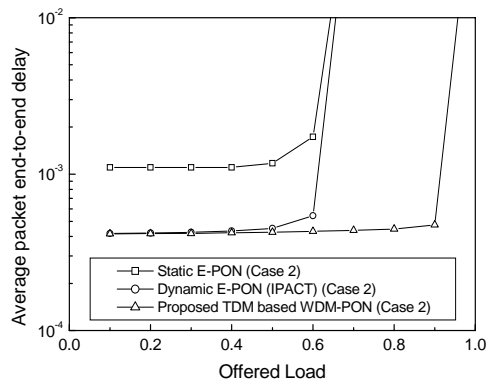


그림 6. 수식적 분석과 시뮬레이션의 패킷의 평균 지연 시간 비교



(a) 불균등 트래픽 발생 비율이 1:2인 경우



(b) 불균등 트래픽 발생 비율이 1:1:2인 경우

그림 7. 불균등 네트워크 트래픽 환경에서 패킷의 평균 지연 시간 비교

트위크 로드 (ρ)가 1로 근접함에 따라 지연시간이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 불균등 네트워크 트래픽 발생 환경에서 패킷의 평균 지연 시간을 보여준다. 그림 7. (a)는 상향 데이터 파장 2개를 사용하여 32 ONU들을 수용할 경우, 망 간의 트래픽 발생률이 1:2인 경우에 대한 분석 결과이고 그림 7. (b)는 상향 데이터 파장 3개를 사용하여 48 ONU들을 수용할 경우 망 간의 트래픽 발생 비율이 1:1:2인 경우에 대한 평균 패킷 지연을 보여준다. 두 그림에서 볼 수 있듯이, 기존의 TDM-PON방식인 static E-PON과 dynamic E-PON (IPACT)과 달리 제안된 방식은 불균등 네트워크 트래픽 환경에서도 상당히 안정되고 낮은 평균 패킷 지연을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 제안된 방식이 불균등 네트워크 트래픽 환경에서 발생한 트래픽에 대하여 파장간 통계적 다중화를 수행하여 동적으로 대역폭 (파장과 타임슬롯)을 사용함으로써 채널의 이용률을 증가시켜 망의 성능을 증가시키기 때문이다.

IV. 결론

본 논문에서는 수동형 파워분배기 기반의 TDM-PON 망 구조에서 WDM 파장채널과 전송 대역폭을 동적으로 운용하는 가입자망 구조를 제안하고, 가입자의 수를 확대하고 대역폭 활용의 효율성을 증가시킬 수 있는 동적 MAC 프로토콜을 제안하였다.

제안된 방식의 성능 분석을 위하여 수학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다양한 트래픽 환경에서 양단간 평균 패킷 지연을 알아보고 기존의 TDM-PON 방식인 static E-PON과 dynamic E-PON (IPACT)과 비교 분석하였다. 균등 트래픽 모델의 시뮬레이션을 통하여 수학적 분석과 시뮬레이션 결과가 상당히 일치함을 확인할 수 있었다. 또한, 불균등 네트워크 트래픽 모델의 시뮬레이션의 경우 제안된 방식이 다수의 상향 파장 채널간 통계적 다중화 방식을 수행함으로써 기존의 방식들보다 패킷의 평균 지연 특성이 우수함을 확인할 수 있었다.

따라서, 제안된 방식은 가입자 망에서 다수의 가입자를 경제적으로 수용하고, 또한 서비스 품질이 보장되는 다양한 광 대역 서비스를 가입자에게 효율적으로 제공해 줄 수 있을 것이다. 제안된 방식은 TDM-PON에서 WDM-PON으로 진화되어가는 과도기적 단계로써, 차세대 광 가입자 망 기술의 기반이 되는 초석을 제공해 줄 수 있을 것이라 생각된다.

참고 문헌

- [1] G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network," IEEE Commun. Mag., pp. 66-73, Feb. 2002.
- [2] K. S. Kim, "On The Evolution of PON-based FTTH Solutions," (Invited Paper) Information Sciences, vol. 149/1-2, pp.21-30, Jan. 2003.
- [3] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet-PON (EPON)," IEEE Commun. Mag., vol. 40, pp. 74-80, Feb. 2002.
- [4] M. P. McGarry, M. Maier, and M. Reisslein, "Ethernet PONs: A Survey of Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) Algorithms," IEEE Commun. Mag., vol. 42, no. 8, pp. s8-s15, Aug. 2004.
- [5] D. Su and D. W. Friffith, "Ethernet Passive Optical Network architecture for broadband access," Opt. Net. Mag. pp. 107-113, Feb. 2003.
- [6] F. T. An, K. S. Kim, Y. L. Hsueh, M. Rogge, W. T. Shaw and L. G. Kazovsky, "Evolution, Challenges and Enabling Technologies for Future WDM-Based Optical Access Networks," Invited paper Proc. Of JCIS 2003, Sept. 2003.
- [7] J. Kani, M. Teshima, K. Akomoto, N. Takachino, H. Suzuko, K. Iwatsuki, and M. Ishii, "A WDM-based optical access network for wide-area gigabit access services," IEEE Commun. Mag., vol. 41, pp. s43-s48, Feb. 2003.
- [8] S. J. Park, C. H. Lee, K. T. Jeoung, H. J. Park, J. G. Ahn, and K. H. Song, "Fiber-to-the-Home Services Based on Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network," J. Lightwave Technol, vol. 22, no.11, Nov. 2004.
- [9] Ethernet in the First Mile, IEEE Standard 802.3ah, 2004
- [10] 신지혜, 이재용, 김병철, "Ethernet PON을 위한 Gated Service 스케줄링의 성능분석," 전자공학 회논문지, 제 41권, TC편 제 7호, pp. 31-40, July 2004

이 성 근 (Sungkuen Lee)

정회원



2004년 2월 : 고려대학교
전기전자전파공학과 학사
2004년 3월 : 고려대학교
전자공학과 석박사통합과정
<관심분야> 전자공학,
광통신공학, 무선통신공학

황 성 택 (Seongtaek, Hwang)

정회원

1990년 서강대학교 물리학 석사
2001년 서강대학교 물리학 박사
1993년~현재 삼성전자 통신연구소 방송통신 기술랩 수
석연구원
<관심분야> Residential Ethernet and Radio over Fiber
(RoF) technology for beyond third generation mo-
bile networks.

김 일 래 (Eallae Kim)

정회원



2004년 2월 : 고려대학교
전자 및 정보공학과 학사
2004년 3월 : 고려대학교
전자공학과 석박사통합과정
<관심분야> 전자공학, 통신공학,
광통신 공학

오 윤 제 (Yunje, Oh)

정회원

1985년 연세대학교 물리학과, 이학사
1987년 연세대학교 이학석사
1995년 Rensselaer Polytechnic Institute 이학박사
1995년~1996년 Rensselaer Polytechnic Institute 박사
후 연구원
1996년~1998년 삼성종합기술원, 선임연구원
1999년~ 현재 삼성전자 통신연구소 수석연구원 (디지
털 홈 랩장)

이 용 원 (Youngwon Lee)

정회원



1997년 2월 : 고려대학교
전자공학과 학사
1999년 8월 : 고려대학교
전자공학과 석사
1999년 9월 : 고려대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> 광전송, 광통신망, 비

선형 분산 보상

박 진 우 (Jinwoo Park)

중신회원



1979년 2월 : 고려대학교
전자공학과 학사
1983년 8월 : 클렘슨대학교
전자공학과 석사
1987년 11월 :
버지니아주립대학교 박사
1988년3월~1989년2월:

명지대학교 전자공학과 교수

1989년3월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 무선통신공학, 광통신공학, 광통신망

이 상 록 (Sangrok, Lee)

정회원

1991년 고려대학교 전자공학 학사
1993년 고려대학교 전자공학 석사
1997년 고려대학교 전자공학 박사
1997년~2000년 ETRI
2000년 2002년 (주) 텔리언
2003년~신홍대학 전자통신과 조교수
<관심분야> 광전송망, 광통신망 다중접속 프로토콜

정 대 광 (Daekwang, Jung)

정회원

1996년 한국과학기술원 전자공학 석사
2001년 한국과학기술원 전자공학 박사
2001년~ 현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원
<관심분야> Wavelength-division-multiplexed passive
optical networks and metro access network