DBpia

G.984.3 기반의 G-PON을 위한 개선된 ONU 활성화 방안에 관한 연구

준회원 김 선 미*, 정회원 김 정 일**, 정 해*

Study on Enhanced ONU Activation Methods for the G-PON Based on G.984.3

Sun-Mi Kim* *Associate Member*, Chung-il Kim**, Hae Chung* *Regular Members*

요 약

PON은 BcN 액세스망의 핵심 기술인 FTTH의 구현 수단으로서 설치가 용이하고 유지보수 비용이 저렴하여 많은 관심을 받고 있다. TDMA PON의 경우, OLT는 새로운 ONU가 연결되면 거리를 측정하고 등화지연을 할당하여 모든 ONU가 논리적으로 동일한 거리에 존재하도록 하는데, 이러한 절차를 ranging이라 한다. 이 과정 동안 OLT는 수 차례의 타임 윈도우를 개설하게 되고, 이 기간에 이미 활성화된 ONU는 상향으로 데이터 전송이 금지된다. 따라서 대역폭 소모를 줄이고 원활한 서비스를 제공하기 위해서 가급적이면 타임 윈도우의 길이를 짧게 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 ITU-T G.984.3 기반의 G-PON의 ONU가 활성화 과정을 살펴보고, ONU의 위치정보를 모를 때 윈도우 길이를 최소화할 수 있는 효율적인 방식 (algorithm I)을 제안한다. 윈도우 크기는 일련번호 등록 과정에서 얻어지는 사전 할당지연을 계산함으로써 줄일 수 있게 된다. 또한, 그것을 위치정보를 알 때 사용되는 방식 (algorithm II)과 비교해 본다. 결과적으로 ONU 활성화 과정에서 첫 번째 알고리즘은 약 50 %에서 90 % 그리고 두 번째 알고리즘의 경우 99 %까지도 윈도우 크기가 감소하게 된다.

Key Words : G-PON, Ranging, Window size, Activation process

ABSTRACT

We are interested in the PON which is easy to install and inexpensive to maintain, as it is a solution of the FTTH that is a core technology of the BcN access network. When a new ONU is connected, TDMA PON has a procedure called ranging that OLT measures the distance and allocates the equalized delay to it in order to provide the same logical distance to all ONUs. For the procedure, the OLT has to open a time window several times and already activated ONUs cannot transmit a data to the upstream during the periods. Accordingly, it is important to reduce the window size for saving the bandwidth and providing a user the service smoothly. In this paper, we investigate the ONU activation method of G-PON based on ITU-T G984.3 and suggest an advanced method (algorithm I) that minimizes the window size without information of ONU distance. The size can be reduced by calculating the pre-assigned delay obtained during Serial number state. Also, we compare it with another (algorithm II) with information of distance. As a result, the window size reduces to 50 ~ 90 % for the algorithm I and 99 % for algorithm II during the ONU activation process.

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문.
* 금오공과대학교 전자통신공학 ({pure1281, hchung}@kumoh.ac.kr), ** KT 인프라 연구소 (cikim@kt.co.kr)
논문번호 : KICS2007-03-131, 접수일자 : 2007년 3월 21일, 최종논문접수일자 : 2007년 5월 18일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

인터넷의 발전은 초기의 e-mail과 웹 검색 등과 같이 저속의 서비스 차원을 뛰어넘어 화상회의, IPTV (Internet Protocol Television), HDTV (High Definition TV), 고화질 양방향 게임, VoD (Video on Demand)와 같이 광대역 서비스를 제공할 수 있도록 진화하고 있다. 상당 부분의 수요를 차지하고 있는 xDSL (Digital Subscriber Line) 기술의 경우, 작게는 수 Mbps, 많게는 수십 Mbps의 속도를 제공하고 있으나, 가장 사용 빈도가 높은 저녁 시간대에 이와 같은 서비스들을 동시 다발적으로 가입자에게 제공하기는 부족한 측면이 있다. 이와 같이 이용자 수의 급증과 속도의 고속화 추세에 따라 가입자 망 구조의 재편이 요구되며, 결국 궁극적인 망의 구조인 FTTH (Fiber to the Home)에 대한 관심이 모아지고 있다[1]~[3].

TPS(Triple Play Service)를 제공하기 위한 FTTH 기술에는 AON (Active Optical Network)과 PON (Passive Optical Network)이 있지만, 설치비용 및 유지보수 비용이 저렴한 후자에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. PON 은 전송되는 프로토콜 방식에 따라 B-PON (Broadband-PON), E-PON (Ethernet-PON), G-PON (Gigabit-capable-PON) 등으로 분류된다.

B-PON을 필두로 시작된 PON의 표준화 작업이 거의 10여 년 기간에 걸쳐, E-PON과 G-PON까지 거의 완성하는 단계에 이르렀다. 국내에서는 초고속 인터넷 가입율 세계 1위에 걸맞게 표준화 초기단계부터 PON에 대한 관심이 높았으며, 일찌감치 PON 개발에 착수하였고 최초에는 B-PON의 개발 및 상용화에 주력하였다. 그러나 망에서 전달되는 신호가 IP 형태의 패킷임을 감안할 때, B-PON 시스템에서 분할과 재조립 과정을 한 번 더 거쳐야 하는 비효율성으로 인해 급속하게 관심도가 떨어지기 시작하였다. 이후 B-PON에 비해 5 배 정도의 속도를 제공하는 E-PON이 등장하였고, 그와 비슷한 시기에 W-PON (Wavelength Division Multiplexing PON)은 국내의 독자적인 규격으로 개발되어 각자 시범 서비스를 개시하였고 상용화 단계에 이르렀다.

G-PON 표준의 착수는 FSAN 멤버들에 의해 ATM이든 Ethernet이든 프로토콜에 무관한 기가 급 PON을 만들 목적으로 착수되기 시작하였다. 이는 IEEE 802.3ah Work Group으로부터 환영 받지 못하는 결정이었으나, FSAN에서는 Ethernet과 다른 경쟁적인 표준으로 발전시키기로 결정하였다[4].

해외의 동향을 살펴보면, 북미에서는 SBC, Bellsouth, Verizon에서 2003 년 6월에 B-PON을 이용하여 FTTP (Fiber to the Premise)를 구축하고자 RFP (Requirement for Proposal)를 발행하였고[5], 2004년에서 2008년에 이르기까지 약 천만 가입자 내외를 대상으로 수십조에 해당하는 투자를 시도하였으나 현재는 B-PON보다는 G-PON을 이용하여 이러한 시도를 이어가고자 하고 있다. 북미의 PON 규격은 CATV (Community Antenna Television)를 수용하는 별도의 파장을 포함하는 것이 일반적이다.

중동지역에서는 처음부터 하향 및 상향 전송률로 2.4/1.2 Gbps급의 PON을 이용한 가입자망을 구축하는 기술요구서를 발행하였으며 이는 주로 북미의 G-PON 규격을 따르는 것으로 판단된다[6]. G-PON에서 TDM을 수용하는 기능을 제공하고 있지만, Ethernet을 통해 음성신호 (VoIP)나 회선신호를 전송하는 것이 특징이다. 그리고 TPS를 제공하기 위하여 IPTV 신호를 수용할 수 있어야 하고, 아날로그 TV 처리를 위한 별도 파장을 포함시키고 있다.

국내의 경우는 E-PON과 W-PON에 비하여 G-PON 개발 및 상용화가 상대적으로 저조한 편이다. 그러나, G-PON은 E-PON에 비해 상·하향 전송대역폭과 효율이 높고 상호운용성이 뛰어나며, W-PON에 비해 가격이 저렴한 특징이 있어서 적시에 상용화가 이루어 질 경우 차세대 가입자 망의 대안으로 부상하고 있다[1].

다른 TDMA (Time Division Multiple Access) PON과 마찬가지로 G-PON에서도 OLT (Optical Line Termination)는 새로운 ONU (Optical Network Unit)가 연결되면, PON상에서 원활히 동작하도록 하는 과정을 수행하는데 이러한 과정을 활성화 과정이라 한다. 이 과정에는 거리를 측정하고 등화지연을 할당하여 모든 ONU가 논리적으로 동일한 거리에 존재하도록 하는 ranging과정도 포함된다. 이 활성화 과정이 진행되는 동안 OLT는 수차례의 타임 윈도우를 개설하게 되고, 이 때 이미 활성화된 ONU는 상향으로 데이터 전송이 금지된다. 따라서, 기 활성화된 ONU를 위한 대역폭 절약과 원활한 서비스를 제공하기 위해서 가급적이면 타임 윈도우의 길이를 짧게 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 ITU-T G.984.3 기반의 G-PON에서 ONU를 활성화할 때, 제안하는 두 가지 알고리즘을 이용해 활성화 과정동안 개설되는 타임 윈도우 길이를 줄이는 방법을 제안한다. 제안하는 첫 번째 알

www.dbpia.co.kr

고리즘은 OLT와 ONU간의 사전거리 정보를 모르는 상태에서 활성화 과정을 진행할 때 적용할 수 있다. 이것은 *Serial-Number-state*에 있는 ONU가 전송하는 Serial_Number_ONU 메시지의 랜덤지연(random delay) 값을 이용하여, *Ranging-state*에서 최소의 타임 윈도우가 열리도록 하는 것이다. 이 알고리즘을 사용할 경우 64 대의 ONU가 활성화에 참여하더라도 G.984.3에서의 활성화 과정에서 소모되는 대역폭에 비해 경우에 따라 90 % 이상을 절감할 수 있다.

제안하는 두 번째 알고리즘은 OLT와 ONU간의 사전거리 정보를 알고 있을 때 활성화 과정을 진행할 때 적용하는 것이다. 이 알고리즘을 사용할 경우, 첫 번째 알고리즘과 달리 ONU가 활성화 과정을 시작하는 단계부터 적용하여 개설되는 타임 윈도우 길이를 확연히 줄일 수 있다. 이 알고리즘을 사용할 경우 활성화해야하는 ONU의 수에 상관없이 G.984.3에서 정의하는 윈도우 길이의 99 %를 절감할 수 있다.

논문의 구성은 II장에서 G.984.3에서 제시하는 ONU 활성화 절차를 소개하고, III장에서는 OLT와 ONU 사이의 사전거리 정보를 모를 때의 알고리즘을 제시한다. IV장에서는 OLT와 ONU 사이의 사전거리 정보를 알 때의 활성화 과정을 살펴보고 V장에서는 제안된 알고리즘들의 효율을 비교해본다. 그리고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. G-PON ONU의 활성화 과정

새로운 ONU가 G-PON상에서 원활히 동작하기 위해서는 반드시 활성화 과정을 거쳐야 한다. 이는 ONU가 G-PON상으로 충돌 없이 데이터를 전송할 수 있도록 하는 ranging 과정을 포함한다. 이 절차를 수행하기 위하여 OLT와 ONU는 상·하향 프레임의 flag 필드와 PLOAM (Physical Layer Operation, Administration and Maintenance)메시지를 주고받는다. 규격에 의하면 ONU는 총 8개의 상태를 가지며, 활성화에 관련된 상태는 6개이다. 랜덤지연을 이용할 경우, **Serial_Number_Mask** 메시지의 사용은 선택사항이므로 이를 생략한 개략적인 절차를 그림 1에서 보여주고 있다.

그림 1과 ONU의 상태 천이를 설명하면 다음과 같다[7].

- *Initial-state* (O1): ONU에 전원이 들어오고 하향 프레임을 통해 동기를 획득하는 과정이다.

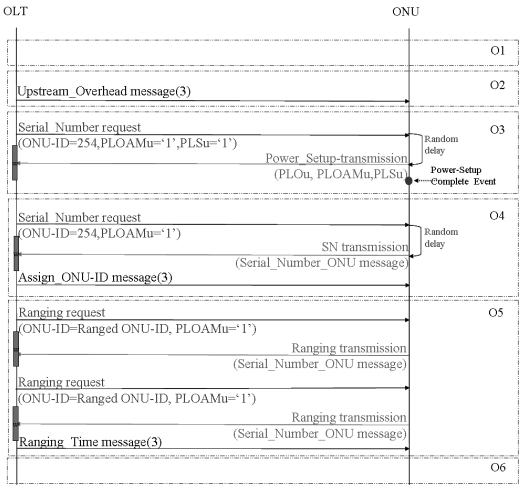

그림 1. ONU의 활성화 과정에서의 데이터 흐름
Fig. 1. Data flow in ONU activation process.

동기가 획득되면 LOS/LOF 경보가 해지되며 O2로 천이된다.

- *Standby-state* (O2): **Upstream_Overhead** 메시지를 대기하는 상태이며, 수신 직후 O3로 전환한다.
- *Power-Setup-state* (O3): OLT에서 ONU의 전송 광 출력을 조절하기 위한 요청을 생성하면서 시작되며, 이 상태의 ONU는 출력 광 파워를 조절하게 된다. ONU는 3회에 걸쳐 수신된 **Upstream_Overhead** 메시지의 출력 광 파워 정보를 바탕으로, OLT에서 생성된 요청에 따라 **Power-Setup** 전송을 보낸다. 이때, 비슷한 위치에 있는 ONU들이 보내는 상향 메시지의 충돌을 방지하기 위해서, 랜덤지연 시간 경과 후 메시지를 전송한다.
- *Serial-Number-state* (O4): 이 상태에서는 OLT에서 Serial_Number 요청을 생성하면서 시작된다. ONU는 이 요청에 따라 상향으로 자신의 일련번호와 전송 시 기다린 랜덤지연 값을 포함한 **Serial_Number_ONU** 메시지를 전송한다. 이 메시지를 수신한 OLT는 일련번호와 랜덤지연 값을 획득하게 되고, 유효한 일련번호를 전송한 ONU에 **Assign_ONU-ID** 메시지를 보내어 ONU-ID를 할당한다.
- *Ranging-state* (O5): OLT의 Ranging 요청에 따라 ONU는 **Serial_Number_ONU** 메시지를 보낸다. OLT는 요청 지점과 응답시점의 차이로부터 거리를 측정하고, 등화지연을 계산하여 **Ranging-Time** 메시지를 통해 ONU에 통보한다.
- *Operation-state* (O6): ONU는 위 상태들을 천이하

www.dbpia.co.kr

면서 활성화가 완성된 상태이다. 이 상태의 ONU들은 OLT가 할당해주는 대역폭에 맞게 상향으로 데이터를 전송할 수 있다. 다른 ONU들이 활성화 과정이 필요할 경우 상향 데이터를 전송이 금지된다.

상기 절차에 의하면 총 4회에 걸쳐서 타임 윈도우가 개설되고, 이때 이미 활성화된 (O6에 있는) ONU들은 그 때마다 상향으로 데이터 전송이 금지된다. 이 과정에서 타임 윈도우의 길이가 길어지면, 대역폭 소모가 커지고 실시간 트래픽을 전달중인 ONU들에게 치명적인 결함으로 작용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 기 활성화된 ONU에 원활한 서비스를 제공할 수 있도록 하기 위하여 개선된 활성화 과정을 제시한다. 그 첫 번째 알고리즘은 4회 중에서 후반 2회는 매우 짧은 타임 윈도우가 개설되도록 하여 활성화할 수 있는 것이고 두 번째 알고리즘은 4회 모두 짧은 타임 윈도우가 개설되어 ONU가 활성화하도록 하는 것이다.

Ⅲ. Algorithm Ⅰ: OLT와 ONU 사이의 사전거리를 모를 때

제안하는 첫 번째 알고리즘은 OLT가 ONU의 위치정보를 알고 있지 않을 때 적용하여 ONU 활성화 과정을 개선하는 것이다. *Serial-Number-state*에 있는 ONU가 상향으로 데이터를 전송할 때 랜덤지연 값을 명시하도록 되어있다. 이 값을 이용하면 전체 타임 윈도우 길이를 줄여 ONU 활성화 과정을 개선할 수 있다.

*Serial-Number-state*에 있는 ONU에서 전송되는 메시지를 수신한 OLT에서는 그 메시지 내의 일련번호에 의해서 각 ONU에 해당하는 랜덤지연 값을 구별할 수 있다. 그리고 OLT는 *Serial-Number-state*에서 왕복전파 지연 값도 측정할 수 있다. 따라서 이 상태에 있는 ONU로부터 얻은 정보를 바탕으로 ONU의 위치를 추정할 수 있다. 상·하향 전송속도를 2.48832 Gbps로 가정했을 때 OLT가 ONU의 위치를 추정하여 사전할당 지연 값을 결정하는 과정은 다음과 같다. 우선, 본 논문에서 사용되는 변수들을 다음과 같이 정의한다.

- V: 광케이블에서 신호의 전파 속도 (약 $2c/3$, c는 빛의 속도)
- D: ONU와 OLT 사이의 거리
- T_{pd}: ONU까지의 전파지연
- T_{rd}: ONU에서 생성되는 랜덤지연
- T_{RTD}: *Serial-Number-state*에서 측정되는 왕복전파지연 값
- T_{eqd}: 등화왕복 지연 값
- T_{pre}: 사전할당 지연 값

그림 2는 OLT에서 Serial_Number 요청이 생성된 후 ONU의 응답이 OLT에 도착할 때까지의 시간 경과를 나타내고 있다. *Serial-Number-state*에서 OLT는 T_{RTD}값과 랜덤지연 값을 이용해 (1) 식과 같이 해당 ONU까지의 전파지연, T_{pd}을 구할 수 있다.

$$2T_{pd} = T_{RTD} - T_{rd} \tag{1}$$

이 식에서 구해진 전파지연, T_{pd}를 이용하면 ONU의 실제거리도 (2) 식과 같이 추정할 수 있다.

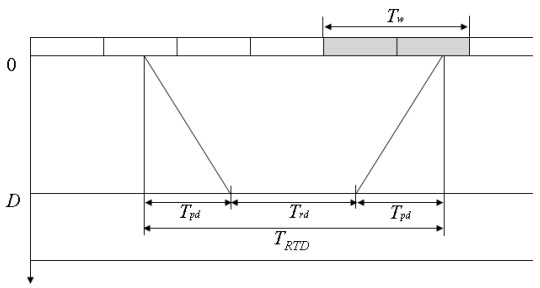

그림 2. Serial-Number-state에서 전파지연 측정
Fig. 2. Measurement of propagation delay in the Serial-Number-state.

$$D = T_{pd} \times V \tag{2}$$

G-PON에서는 T_{eqd}로 약 5프레임에 해당하는 지연 값이 (60 Km이상에 해당하는 논리적인 거리) 되도록 하고 있다. 따라서 모든 ONU에 대하여 동일한 T_{eqd}를 기지도록 하기 위해서 T_{pre}와 T_{eqd}는 다음의 관계식을 갖는다.

$$T_{eqd} = 2T_{pd} + T_{pre} \tag{3}$$

결국 (1)과 (3)에서 아래의 사전할당 지연을 얻는다.

$$T_{pre} = T_{eqd} - 2T_{pd} \tag{4}$$

위 과정을 통하여 획득된 사전할당 지연 (예측한

www.dbpia.co.kr

ONU의 등화지연) 값은 *Ranging-state*에서 Ranging 요청 시에, USBWmap (Upstream Bandwidth map)을 통해 전달된다. USBWmap은 G.984.3에 정의되어 있으며, ONU의 대역폭 할당을 제어하기 위해 사용되는 필드이다. USBWmap의 구조는 그림 3과 같다. Sstart 부분은 ONU가 데이터 전송을 시작하는 시간을 의미하고, Sstop은 종료시간을 의미한다. 이 두 부분을 이용하여 ONU의 할당 대역폭을 제어할 수 있는 것이다. USBWmap은 G-PON 프레임의 헤더부분에 항상 존재하므로, 본 논문에서 제안하는 개선된 활성화 과정을 위해서 별도로 전송할 필요가 없다.

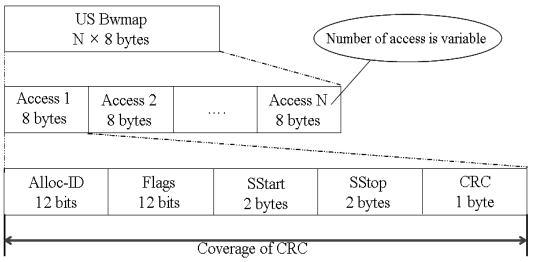

그림 3. 대역폭 맵 할당 구조
Fig. 3. Bandwidth map allocation structure.

개선된 활성화 과정에서 Sstart와 Sstop의 값은 등화지연을 고려한 데이터 전송 시작시간과 전송 종료시간이 된다. Sstart와 Sstop 각각의 크기가 2 바이트이기 때문에 카운터 할 수 있는 범위는 0 ~ 65,535까지이다. 그러나 G-PON에서 요구되는 등화지연 범위는 프레임 단위로는 0 ~ 5에 해당하는 값으로 비트단위로는 1,555,200이며 바이트 단위로 환산해도 194,400 값을 가진다. 그러므로 2바이트 필드의 길이로는 바이트 단위의 해상도로 나타내기에 부족하다.

이러한 문제를 해결하고, 제안된 알고리즘의 지원여부를 OLT와 ONU 사이에서 서로 인식하도록 하면서 2절에서 기술한 ONU 활성화 과정을 재구성하면 다음과 같다. O1 절차는 동일하고 O2에서 OLT가 하향으로 Upstream_Overhead 메시지를 보낼 때, 10 번째 옥텟에서 사용이 유보된 비트에 표시를 하여 이 알고리즘 지원 여부를 밝힌다. O3에서 ONU가 PLOAMu 메시지를 보낼 때, 일반적인 경우에는 ONU_ID = 255를 사용하지만 개선된 알고리즘을 사용한다면 ONU_ID = 254로 회신하도록 한다. O4에서 OLT는 **Serial_Number_ONU** 메시지를 수신하면 11과 12 번째 옥텟에 명시된 랜덤지연을 가지고 (1)과 (4)에 근거하여 T_{pre}를 계산한다. O5에서 OLT는 계산된 값을 1 바이트 단위가 아닌 4 바이트 단위의 해상도로 환산하여 그림 3의 Sstart, Sstop 필드에 기록한 후, ONU에 Ranging 요청을 수행하고, 즉시 타이머를 가동한다. 알고리즘을 지원하는 ONU라면 해당 필드의 T_{pre}를 참조하여 Serial_Number_ONU 메시지를 송신하게 될 것이고 그렇지 않은 ONU라면 해당필드를 무시할 것이다. ONU로부터 메시지가 도착하면 OLT는 타이머 가동을 중단하고 소요된 시간으로부터 정확한 등화지연을 계산하고, 최종적으로 결정된 등화지연 (Equalization Delay, EqD)을 **Ranging_Time** 메시지를 통하여 ONU에 통보한다.

Ⅳ. Algorithm II: OLT와 ONU 사이의 사전거리를 알 때

3절에서는 OLT와 ONU 사이의 거리를 모를 경우, *Ranging-state*에서 짧은 타임 윈도우를 개설하는 개선된 ONU 활성화 과정을 살펴보았다. 여기서는 3절에 제시된 알고리즘의 조건과 반대로 OLT와 활성화될 ONU 사이의 거리를 알고 있을 경우 ONU의 활성화 과정을 살펴보도록 한다. OLT가 활성화될 ONU의 위치정보를 알고 있을 경우, OLT는 이 ONU에 대해 활성화 과정을 진행하면서 동시에 이미 활성화된 ONU에는 대역폭을 할당하여 서비스를 계속 제공할 수 있다. 이것을 그림 4에서 보여주고 있다. 이 그림과 같은 활성화 과정을 진행하기 위해서 OLT는 ONU의 거리정보를 바탕으로 사전등화 지연 값을 결정해야 한다. 사전등화 지연 값을 결정하는 방법들을 살펴보면 다음과 같다. 단, 여기서 사용될 변수들은 앞서 3절에서 정의한 변수들을 같이 사용하도록 한다.

OLT는 사전에 알고 있는 ONU의 위치 정보와 (2) 식을 바탕으로 전파지연, T_{pd} 값을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{pd} = \frac{D}{V} \tag{5}$$

상기 식을 통해 얻어진 전파지연 값을 2배하여 왕복 전파지연 값을 구한다. 왕복 전파지연 값이 구해지면, 규격에 명시된 등화 왕복지연 값을 기준으로 사전할당 지연 값을 계산할 수 있는데, 이것은 3절의 (4) 식과 동일하다.

www.dbpia.co.kr

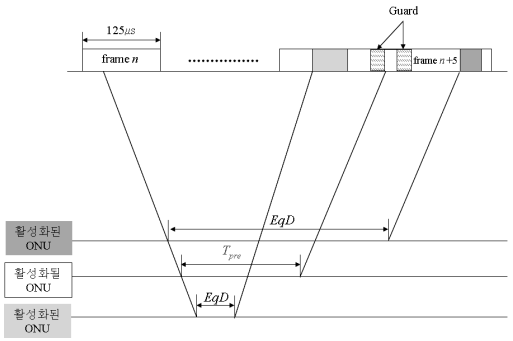

그림 4. ONU의 거리를 알고 있을 때 ranging 시간 측정
Fig. 4. Measurement of the equalization delay with knowledge of ONU distance.

위 절차에 따라 얻어진 사전할당 지연 값은 ONU 활성화 과정이 시작되기 이전에 ONU에 전달된다. 그 방법은 3절에서 제안된 USBWmap을 사용하지 않고, 표준에 정의된 **Upstream_Overhead** 메시지의 사전할당 지연 필드를 통해 ONU에 전달한다. 사전할당 지연 필드는 2 바이트로 구성하고 있으며 이것으로 32 바이트 단위의 해상도를 가진 등화지연을 표현할 수 있다[7]. **Upstream_Overhead** 메시지는 ONU가 활성화를 시작하는 초기 단계에서 OLT로부터 수신하는 첫 메시지이므로, ONU가 활성화 과정을 시작하기 이전에 사전할당 지연 값을 할당받을 수 있는 것이다. 이 결과로 그림 4와 같은 활성화 과정이 진행될 수 있는 것이다.

사전지연 할당 값이 결정하고 ONU에 통보한 후, OLT는 ONU에서 전송되는 프레임의 길이와 보호구역을 고려한 윈도우 길이를 결정해야 한다. ONU에 전달된 사전할당 지연 값이 32 바이트 단위로 되어 있으므로, 개설되는 윈도우 길이는 32 바이트의 정수배로 구성되어야 할 것이다. ONU가 활성화되는 과정에서 상향으로 전송하는 프레임의 길이에 따라 각 *state*에서 개설되는 윈도우 길이는 다를 수 있다. 각 *state*에서 개설되는 윈도우 길이를 추정해 보면 다음과 같다.

ONU는 *Power-Setup-state*로 천이되어야 상향으로 첫 프레임을 전송할 수 있는데, 이 때 전송되는 프레임은 120 바이트의 PLSu, 13 바이트의 PLOAMu 와 12 바이트의 PLOu 로 구성되며 레이저 on-off 시간까지 고려하면 총 152 바이트의 정도의 길이를 갖는다. OLT는 이 프레임 길이와 보호구간 (Guard Time)의 길이를 고려하여 윈도우 길이를 결정한다. 여기서 보호구간의 길이는 사전에 알고 있던 거리정보의 정확도에 따라 결정된다. 보통 OLT는 사전할당 지연의 해상도를 고려하여 32 바이트의 정수배로 타임 윈도우 길이를 결정할 것이다. 따라서 *Power-Setup-state*에서 개설되는 타임 윈도우 길이는 $32(2n+5)$가 된다. 그리고 ONU가 *Serial-Number-state*와 *Ranging-state*에 있는 경우 ONU는 **Serial_Nimber_ONU** 메시지와 PLOu로 구성된 프레임을 전송한다. 이 프레임을 전송하기 위한 윈도우의 길이는 다음과 같이 계산할 수 있다. 메시지 순수한 길이 13 바이트와 헤더에 PLOu 12 바이트가 포함되어 프레임의 길이는 25 바이트에 불과하다. 그리고 레이저 on-off 시간까지 고려할 경우 32 바이트 정도가 된다. 그러나, OLT와 ONU 간의 광케이블 길이를 아무리 정확하게 알고 있다 하더라도, 실제 길이와의 오차를 0으로 간주할 수는 없다. 따라서 OLT가 인식하고 있는 위치와 좌우로 ±32 바이트의 배수로 오차를 허용한다면 오차를 포함한 윈도우의 길이를 $32(2n+1)$ (n은 정수)로 간주할 수 있다.

Ⅴ. 개설되는 윈도우 길이 비교

여기서는 ITU-T G.984.3에서 정의하는 ONU 활성화 과정과 3과 4절에서 살펴본 알고리즘을 이용한 ONU 활성화 과정 시 개설되는 윈도우 길이를 비교해보고자 한다.

우선 ITU-T G.984.3의 표준안 내용을 살펴보면 다음과 같다. G-PON의 한 프레임의 길이는 125 μs로 정의되고, 상향 프레임의 전송속도가 2.48832 (1.24416) Gbps일 경우 한 프레임의 길이 T_f는 38,880 (19,440)바이트로 구성된다. 활성화 과정동안 OLT는 기 활성화된 ONU에게 상향으로 데이터 전송을 금지시키고, 새로 등록될 ONU에게는 PLOAM 메시지를 보낼 수 있도록 약 두 프레임의 길이에 해당하는 타임 윈도우를 개설한다[8].

그림 1에서 보는 바와 같이 한 대의 ONU가 성공적으로 활성화될 때까지 최소 4회의 윈도우가 개설되므로 총 8 프레임이 소모될 것이다.

만약 활성화될 ONU의 수가 N 대이고, O3와 O4에서 개설되는 타임 윈도우에서 활성화에 참여하는 모든 ONU가 보내는 PLOAM 메시지들 간의 충돌이 전혀 없었다고 가정하면 2회의 윈도우 ($4T_f$)만 개설되면 모든 ONU들이 O5로 넘어갈 수 있다. 그리고 O5에서는 각각의 ONU-ID가 할당된 상태이므로 개별적인 등화지연 측정이 이루어진다. 이때부터

www.dbpia.co.kr

ONU 당 각각 2회의 타임 윈도우가 개설되므로 $4NT_f$가 소모된다. 결국, 표준안에 기초한 총 소요 기간, $T_{G.984}$는 다음과 같다.

$$T_{G.984} = 4(N+1)T_f \quad (6)$$

이와 달리, 3절에서 소개한 첫 번째 알고리즘을 이용할 경우, O5에서 요구되는 타임 윈도우의 길이는 PLOAM 메시지의 길이와 보호구간을 얼마나 할당할 것인가에 달려있다. VI 절에서 언급한 바와 같이, **Serial_Number_ONU** 메시지의 13 바이트를 보내는 데 모든 오버헤더 (PLOu 및 레이저 on-off 시간)를 고려하여 32 바이트로 가정한다. 보호구간의 크기는 식 (1)에서 측정한 전파지연의 신뢰성 여부에 따라 결정하며, 메시지 전후에 각각 32 바이트의 정수배로 구성하고, 정보 프레임을 포함하여 개설되는 전체 타임 윈도우의 길이는 $T_w = 32(2n+1)$이다. 각각의 ONU에 대하여 축소된 타임 윈도우가 2회씩 개설되므로 결국 첫 번째 알고리즘에 기초한 N 대의 총소요시간, $T_{\text{Algo I}}$는 다음과 같이 얻어진다.

$$T_{\text{AlgoI}} = 4T_f + 64(2n+1)N \quad (7)$$

마지막으로 4절에서 제안한 두 번째 알고리즘에서 개설되는 타임 윈도우 길이는 활성화 과정의 각 *state*에서 ONU가 상향으로 전송하는 프레임의 길이에 따라 신축적으로 윈도우를 개설할 수 있다. O3에서는 152 바이트의 프레임을 전송하므로 $32(2n+5)$바이트의 윈도우를 1회 개설하고, O4에서는 32 바이트의 프레임이 전송되므로 개설되는 윈도우는 $32(2n+1)$ 바이트로 1회 개설한다. 그리고 O5에서도 32 바이트 프레임이 전송되므로 O4와 동일하게 $32(2n+1)$ 바이트 길이의 윈도우를 개설하지만, O5에서는 ONU가 상향으로 두 번 전송하므로 위 길이의 윈도우를 2회 개설하게 된다. 따라서 두 번째 알고리즘에 기초한 N 대의 총소요시간, $T_{\text{Algo II}}$은 다음과 같다.

$$T_{\text{Algo II}} = 32 \times 8(n+1)N \quad (8)$$

위에서 구해진 (6), (7), (8) 식을 이용하여, 표준안에서 제시한 방식의 윈도우 길이와 본 논문에서 제시한 두 가지 알고리즘과 적용 시 활성화해야 할 ONU 수에 따라 총 소요되는 길이를 바이트 단위로 환산하여 비교해 보도록 한다. 단, G.984의 경우는 Power-Setup 및 Serial-Number state에서 모든 ONU가 보내는 메시지를 충돌 없이 접수한다고 가정하였으므로 가장 유리한 조건을 고려한 것이다.

그림 5는 OLT에서 인식하는 ONU의 위치 정보의 오차가 ± 64 (즉, n = 2) 바이트일 때 여러 가지 알고리즘에 대한 윈도우 크기를 비교한 것이다. 해당 오차에서 상향 전송률이 2.48832 (1.24416) Gbits/s일 때, 실제 광케이블의 오차 ± 0.041 (± 0.082) Km에 해당하는 거리이다.

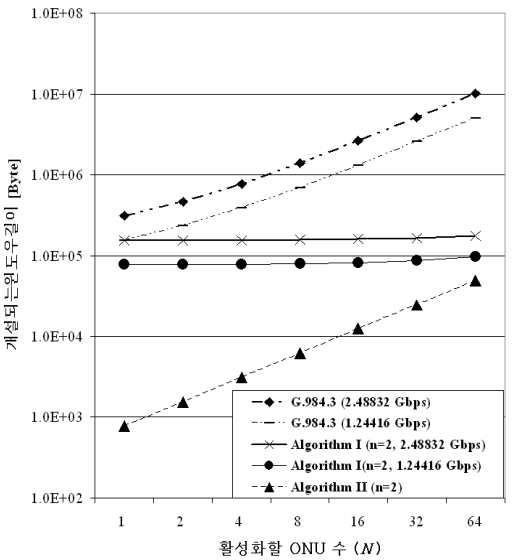

그림 5. n = 2일 경우 타임 윈도우 길이
Fig. 5. Time window size with n = 2.

이 그림에서 G.984.3의 경우는 N이 증가함에 따라, 거의 비례하여 윈도우의 길이가 증가한다 (수평 수직 축이 모두 로그 스케일임에 유의). 그러나 Algorithm I의 경우는 N이 증가해도 거의 변화가 없으므로 N이 클수록 제안한 방식이 유리해 진다. Algorithm II는 기본적으로 N이 작을 때는 Algorithm I에 비하여 상당히 유리하나 N이 커지면서 차이가 줄어듦을 알 수 있다. 이것은 (7)과 (8) 식을 비교하면 N이 작을 때, 4 프레임의 차이가 크게 작용하기 때문이다.

다음으로 광케이블의 오차가 극단적으로 발생하는 경우를 고려한다. 그림 6는 OLT에서 인식하는 ONU의 위치 정보의 오차가 ± 8192 (즉, n = 256) 바이트일 때 각 경우에 따라 소요되는 윈도우의 크기를 보여준다. 이는 상향 전송률이 2.48832 (1.24416) Gbits/s일 때, 실제 광케이블의 오차 ± 5.27 (± 10.34) Km에 해당하는 거리이다. PON의 서비스 거리가 20 Km인 것을 감안할 때, 오차

www.dbpia.co.kr

가 ±10.34 Km인 경우는 위치 정보를 전혀 모르는 극단적인 상태임을 의미한다.

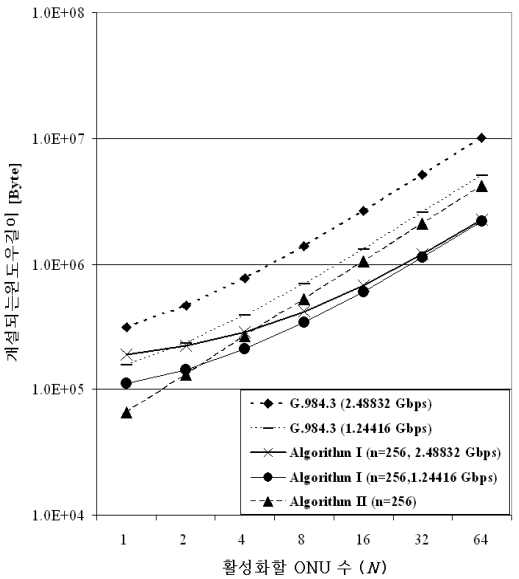

그림 6. n = 256 일 경우 타임 윈도우 길이
Fig. 6. Time window size with n = 256.

이 그림에서 Algorithm I은 G.984.3에 비해 여전히 우수한 성능을 보여주고 있다. 단, N이 증가할수록 성능의 차이가 여전히 더 커지고 있지만 그림 5에 비해서는 격차가 줄어들었다. 이는 위치의 불확실성에 의해 윈도우 길이를 크게 사용한 때문이다. Algorithm I과 II를 비교해 보면, N = 5가 되는 점을 기준으로 성능의 역전 현상을 보이고 있다. Algorithm II는 O3와 O4에서 Algorithm I에 배해 작은 윈도우 길이를 사용하지만, 개별적인 파워 셋업이 이루어지므로 N이 증가하면 오히려 불리해 지는 현상은 나타낸다.

전체적으로 평가할 때, 어떤 알고리즘을 사용할 경우에도 기존의 방식에 비해 약 50 %에서 90 % 이상까지 대역폭을 절감할 수 있음을 보여준다. 특히 제안된 알고리즘은 ONU의 수가 증가할수록 성능이 더 좋아짐을 알 수 있다. 그리고 제안하는 두 번째 알고리즘에서 거리의 정보가 정확할 경우에는 표준안에서 제시한 윈도우 길이의 1 % 미만으로 ranging이 이루어 질 수 있음을 보여준다. 따라서 이미 활성화된 ONU가 많이 존재하고 소수의 새로운 ONU가 등록되고자 할 때, 서비스 중에 있는 ONU에 영향을 주지 않고 활성화 과정을 진행할 수 있게 된다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 차세대 가입자 망의 대안으로 유력시 되고 있는 G-PON의 활성화 과정을 살펴보고, OLT와 ONU간의 사전거리 정보를 알고 있을 때와 아닐 경우로 각각 나누어 활성화 과정의 성능을 개선할 수 있는 방안을 제시하였다. ITU-T 표준에 의하면, G-PON은 활성화 과정에서 총 4회에 걸쳐 긴 윈도우를 개설하게 된다. 이는 대역폭을 소모할 뿐만 아니라, 현재 서비스 중에 있는 ONU 들에게 나쁜 영향을 미치게 되어 서비스 품질을 저하시킨다.

본 연구에서 제안한 OLT와 ONU간의 사전거리를 모를 경우의 방식을 사용할 경우 2회의 긴 윈도우가 개설되며 나머지 2회는 매우 짧은 윈도우가 개설되어 현재 서비스 중에 있는 ONU에 대하여 서비스 품질의 저하를 크게 감소시킬 수 있다. 또, OLT와 ONU간의 사전거리를 알 경우 4회의 짧은 윈도우를 개설하여 활성화하므로 실시간 서비스 중인 ONU에 거의 영향을 주지 않는다.

제안된 방식에서 하향으로는 Upstream_Overhead 메시지에서 사용이 유보된 비트를, 상향으로는 PLOAM 메시지의 ONU_ID = 254를 통하여 해당 알고리즘의 지원여부를 인식할 수 있으므로 기존의 방식을 사용하는 ONU와 호환이 가능하다. 그러므로 G-PON TC (Transmission Convergence) 칩을 구현 제작하는데 적용할 경우, 기존의 방식에 비해 훨씬 효율적으로 ONU를 활성화 할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

〔1〕 정해 외, "WDM-PON을 위한 MAC 프로토콜에 관한 연구", KT 인프라연구소, 최종보고서, 2006.10.

〔2〕 박정우, 백용순, "PON기반 가입자망을 위한 광소자의 표준화 현황 및 기술", 전자통신동향분석, 제 20권 제 6호, 2005. 12.

〔3〕 김병휘, "차세대 서비스를 위한 광대역 액세스 망 기술," Proceeding of HSN 2006, Feb. 22~24, 2006.

〔4〕 Alloptic, "EPON vs. GPON: A comparative Study," White paper, Nov.22, 2004.

〔5〕 Bellsouth, Verizon, and SBC, "Fiber-to-the-Premise Request for Proposal (REF) No. 2003000085/R0301020." June 19,

www.dbpia.co.kr

2003.
〔6〕 Etisalat Tender Specification, "Supply, Installation, Testing & Commissioning of Passive Optical Network (PON) System and Associated Network Management System (NMS) and Customer Premise Equipment (CPE)," May 15, 2006.
〔7〕 ITU-T Recommendation G.984.3, "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission Convergence Layer Specification," ITU-T SG15, Feb., 2004.
〔8〕 정해, 김진희, 권순철, "G.983.1 기반의 ATM-PON을 위한 Ranging 프로토콜에 관한 연구," 한국해양정보통신학회지, 제 4권 제 1호, 2000. 2.

김 선 미 (Sun-Mi Kim) 준회원

2005년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 졸업
2005년 8월 ~현재 : 금오공과대학교 전자통신공학과 석사과정
<관심분야> BcN, PON, WiBro

김 정 일 (Chung-il Kim) 정회원

1980년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사
1985년 8월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석사
1997년 8월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정
1984년 ~ 1990년: KT 사업지원본부 선임연구원
1991년 ~ 1996년: KT 전자통신운용연구단 부장
1997년 ~ 2003년: KT 통신망연구소 경영직
2004년 ~ 현재: KT 인프라연구소 상무대우
<관심분야> 가입자망, FTTH, 광통신 공학

정 해 (Hae Chung) 정회원

1987년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (학사)
1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (석사)
1996년 2월 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과 (박사)
1995년 ~ 1998년: LG정보통신 선임연구원
1998년 8월 ~ 현재: 금오공대 전자공학부 부교수
2004년 1월 ~ 2005년 1월: University of Texas at Dallas 방문교수
<관심분야> 가입자 액세스망, BcN, PON, Wibro

www.dbpia.co.kr