

Ethernet PON에서 ONU 초기 등록 성공률 분석

*박혁규⁰, *조충건, *김영철, *한경은, **노선식, *김영천
* 전북대학교 컴퓨터공학과
** 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부

ONU Initial Registration Success Ratio in Ethernet PON

*H.G. Park⁰, *C.G. Cho, *Y.C. Kim, *K.E. Han, **S.S. Roh, *Y.C. Kim
* Department of Computer Engineering, Chonbuk National University
** Div. of Computer Electronic and Communication Engineering, Kwangju University
hgpark1@empal.com

Abstract

Ethernet PON은 다수의 ONU(Optical Network Unit)가 하나의 OLT(Optical Line Terminator)를 공유하는 구조이며 수동 분배기를 사용하여 여러 가입자간 신호를 결합·다중화하여 고속 기간망에 전달하는 가입자망 기술이다. Ethernet PON에서 다수의 ONU들이 하나의 OLT로 정보를 전송하기 위해서는 ONU들이 먼저 등록이 되어야 한다. OLT가 등록을 허용하는 정보를 보내면 ONU가 등록을 시도하는데, 이 때 다수의 ONU가 시도를 하게 되면 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 ONU의 초기 등록 과정과, ALOHA 프로토콜을 이용하여 ONU들이 등록을 시도할 때, 충돌 없이 등록을 성공적으로 수행하기 위해 필요한 프레임 수를 분석하였다. 초기 등록에서의 성공률을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 실시하여 수학적 분석의 타당성을 확인할 수 있었다.

I. 서론

지난 몇 년간 다중화된 데이터 흐름을 전달하는 기간망은 SONET(Synchronous Optical Network) 또는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 같은 고속 광 전송 기술을 이용하여 테라급까지 증가하여 왔으나 가입자망은 이에 미치지 못하고 있다. 따라서 가입자망의 고속화를 위하여 다양한 기술들이 제시되고 있으며, 음성, 데이터 및 영상의 통합 서비스를 수용할 수

있는 수동 광가입자망(Passive Optical Network:PON)이 주목을 받고 있다. Ethernet PON은 다수의 ONU(Optical Network Unit)가 광섬유를 통해 하나의 OLT(Optical Line Terminator)를 공유하는 점대다점(Point to Multipoint)구조이다. Ethernet PON의 특징은 상·하향 프레임의 가변 길이의 이더넷 프레임에 할당하여 효율성 증대를 도모하는 것이다. 따라서 불필요한 변경 없이 기존 이더넷 데이터를 투명하게 전달할 수 있고, 더 넓은 대역폭을 제공할 수 있다. 또한 트랜시버 소자 가격이 기존 가격보다 저렴하여 경제적인 서비스를 제공할 수 있고, 기존 망과의 호환성, 비용의 효율성, 망 유지보수 면에서도 많은 이점이 있다. 이러한 Ethernet PON 구조에서 다수의 ONU들이 하나의 OLT로 정보를 전송하기 위해서는 ONU들이 먼저 등록이 되어야 한다. OLT가 등록을 허용하는 정보를 보내면 ONU가 등록을 시도하는데, 이 때 다수의 ONU가 시도를 하게 되면 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 ONU의 초기 등록 과정과, ALOHA 프로토콜을 이용하여 ONU들이 등록을 시도할 때, 충돌 없이 등록을 성공적으로 수행하기 위해 필요한 프레임 수를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 이더넷 기반 수동 광가입자망의 구조에 대해서 설명하고 3장에서는 ONU 초기 등록 과정에 대해서 기술하며, 4장에서는 초기 등록에서의 성공률 확률을 수학적으로 분석하였다. 5장에서는 시뮬레이션을 통한 성능평가를 수행하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 수동 광 가입자망 구조

그림 1과 같이 Ethernet PON 시스템은 1개의 OLT와 다수개의 ONU, 그리고 ODN으로 구성된다. OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 교환기의 회선에 직접 연결됨으로써 시간망 액세스 노드 기능을 담당한다. ODN은 ONU와 OLT 사이에 위치하며, 광신호의 분배를 위한 수동 소자가 사용되므로 별도의 전원이나 교환 기능이 요구되지 않는다. 따라서 망 자원의 분배 및 관리에 관련된 모든 기능들은 OLT에 의해 수행된다. 수동형 광 가입자망에서의 광 분기율을 1:32로 OLT에서 ONU까지의 최대 거리는 20Km 이내로 지정하고 있다. 수동 광 가입자망은 ONU의 형태에 따라 FTTC, FTTB 또는 FTTH로 분류될 수 있다. FTTC 또는 FTTB는 다수의 B-NT1(Broadband-Network Terminator 1)가 하나의 ONU를 공유하는 형태이며, FTTH의 경우는 하나의 B-NT1이 하나의 ONU에 직접 접속된다. 이더넷 기반 수동 광 가입자망에서의 전송 속도는 상·하향 모두 1Gbps이다.

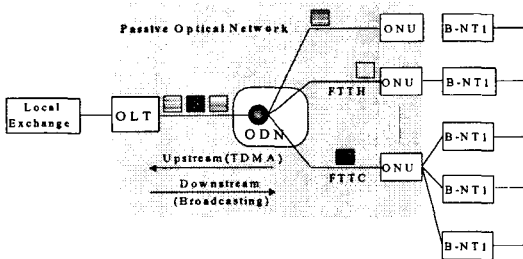


그림 1. 수동 광 가입자망 구조

III. ONU 초기 등록 과정

이더넷 기반 수동 광가입자 망에서 ONU가 정상적으로 동작하기 위해서는 먼저 등록이 이루어져야 한다. OLT가 등록을 허용하는 정보를 보내면 데이터를 보내고자 하는 ONU는 등록을 시도한다. 이 때 상향 링크는 다수의 ONU에게 공유되며 각 ONU는 ALOHA 프로토콜을 이용하여 등록을 시도한다. 다시 말하면 ONU 등록 과정에서 경쟁(Contention) 기반의 접근이 이루어지며 충돌이 발생할 수 있다. 등록을 시도한 ONU가 일정한 시간이 지난 후에 응답을 받지 않으면 충돌이 발생한 것으로 인식하고 충돌해소 알고리즘을 사용하여 일정 시간이 지난 후에 다시 등록을 시도한다.

ONU의 초기 등록절차는 그림 2와 같으며 구체적으로 다음과 같다.

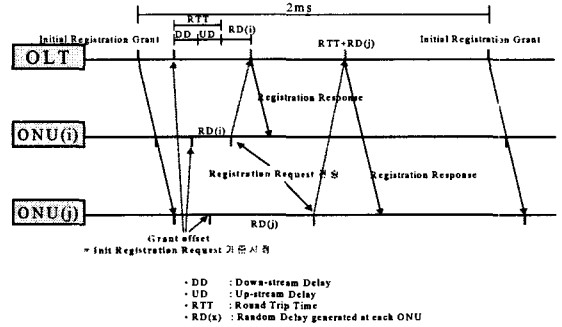


그림 2. 초기 등록 절차

1. OLT는 Initial Registration Grant 패킷을 ONU에게 broadcast한다.
2. ONU는 일정한 시간을 지연한 후에 자신의 임시 ID를 설정하여 Registration Request 패킷을 보낸다.
3. 정상적으로 Registration Request 패킷을 받은 OLT는 RTT를 구한다.
4. OLT는 확정 ONU ID를 설정하고 RTT를 정보를 Registration Response 패킷을 통해 ONU에게 보낸다.
5. Registration Response 패킷을 받은 ONU는 확정 ID를 ONU ID로 설정하고 등록을 마친다.
6. Registration Response 패킷을 받지 못한 ONU는 Time Out되고 Exponential Back-off Algorithm 등을 이용하여 재시도한다.

IV. 초기 등록에서의 성공률 분석

다수의 ONU가 일정한 프레임 타임안에서 초기 등록을 수행하는 경우 충돌이 일어날 수 있으며 이는 ONU의 등록이 이루어지지 않은 것을 의미한다. 등록되지 않은 ONU에 접속된 사용자들은 서비스의 지연을 초래하고 등록 자체를 실패하는 경우도 발생한다. 그러므로 일정한 프레임 타임에서 등록을 시도하는 ONU의 충돌 확률을 분석하고, 등록에 성공하기 위해서 필요한 시도 횟수를 예상하는 것은 시스템의 성능을 결정짓는 중요한 문제이다.

ONU의 초기 등록에서의 충돌 확률 분석을 위해서 다음과 같은 가정이 필요하다.

- G : 제공된 부하, 즉 전송되기 위해서 망으로 보내지는 데이터의 총비율 [offered load]
- S : 망의 처리율, ONU에서 전송되고 있는 데이터의 총비율 [carried load]
- 프레임 타임 : 2ms

ALOHA 프로토콜을 이용하여 등록을 시도하는 ONU들이 OLT에서 같은 거리에 있다고 가정하자. 등록을 시도하는 ONU들은 단위 시간당 많은 Registration Request 패킷들을 발생시킨다. 이것을 패킷 전송 시간을 사용하여 정규화하면 S를 한 패킷 시간에 발생된 등록 요청 패킷의 수로 볼 수 있으며 용량의 비율로서 처리율(throughput)의 뜻을 가진다. 시스템에서 사용되는 채널의 총 트래픽은 새 패킷과 충돌로 재전송되어야 하는 패킷으로 구성된다.

$$G = S + \text{단위시간에 재전송되는 패킷 수} \quad (1)$$

이제 충돌이 일어나면, 패킷이 재전송되어야 하는데 재전송 비율은 $G \times Pr$ [개개의 패킷이 한 충돌을 겪음]이다.

ALOHA 프로토콜을 이용하여 ONU들이 등록을 시도할 때, 충돌이 발생할 확률을 구하기 위해서 그림 3을 생각할 수 있다.

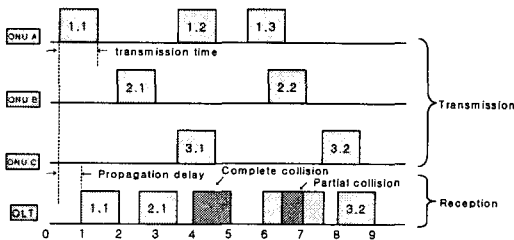


그림 3. 초기 등록 과정에서의 충돌

Registration Request 패킷들을 전송하는 세 개의 ONU들이 있고 각 전송은 정규화 된 전송시간 1을 가진다고 할 때, 한 ONU에서 발생된 패킷은 일정한 전파 지연 후에 OLT에 도착한다. 충돌이 발생하는 경우는 그림에서 보는 바와 같이 두 ONU들이 동시에 전송을 시작할 때 뿐 아니라, ONU A가 전송한 패킷이 ONU B가 전송한 패킷의 전송에 앞서, 시간 1 이내에 전송을 시작하거나, 전송 후 시간 1 이내에 시작할 때이다. 그러므로 충돌이 발생하는 기간은 길이 2이다.

제공된 부하 G가 Poisson 분포라고 가정할 때 λ를 비율로 하는 Poisson 처리의 경우 t시간의 기간 동안 전송확률은 $1 - e^{-λt}$ 이다. 그러므로 충돌이 가능한 기간 동안 전송확률은 $1 - e^{-2G}$ 이다.

따라서 (1)식은 (2)식으로 나타낼 수 있다.

$$G = S + G(1 - e^{-2G}) \quad (2)$$

결국 ALOHA 프로토콜에서 처리율은 다음과 같이 된다.

$$ALOHA : S = G e^{-2G} \quad (3)$$

위 (3)식에서 단위 패킷 당 예상되는 전송 수는 다음

과 같다.

$$\frac{G}{S} = e^{2G} \quad (e = 2.718281\dots) \quad (4)$$

이 유도는 무한히 많은 ONU들이 있다는 가정하에서 결과이지만 [1]에 의하면 적은 수의 ONU들에 대해서도 매우 근사하게 나타난다.

그러면 제공된 부하 G를 구하기 위해서 프레임 타임을 다수의 서브 슬롯으로 나눌 수 있다. 이 때 ONU들이 서브 슬롯을 공유하며 서브 슬롯의 크기는 OLT와 ONU간의 최대 RTT를 고려해야 한다. 서브 슬롯을 $t_{s-frame}$ 이라 하면 OLT와 ONU 사이의 최대 거리를 20km로 생각할 때 최대 RTT는 200μs 이므로 다음과 같이 정의한다.

$$t_{s-frame} = 200 \mu s$$

정의된 서브 슬롯에서 최대 16개의 ONU들이 Registration Request 패킷을 가지고 등록을 시도한다. 이 패킷이 차지하는 시간을 t_{RR} 이라 하면 길이가 14byte이므로 0.112μs이다.

$$t_{RR} = 0.112 \mu s$$

또한 각각의 ONU들이 등록을 시도하기 위해서는 Switch ON/OFF 타임($t_{on/off}$)이 필요한데 이 시간은 8μs이다.

$$t_{on/off} = 8 \mu s$$

따라서 제공된 부하 G는 다음과 같다.

$$G = \frac{t_{RR} + t_{on/off}}{t_{s-frame}} \times ONU \text{ 개수} \quad (5)$$

이 (5)식을 (4)식에 대입하면 단위 패킷 당 예상되는 전송 수는 다음과 같다.

$$\frac{G}{S} = e^{2G} \approx 3.166167$$

최대 16개의 ONU들이 등록을 시도하여 충돌없이 성공적으로 등록되기 위해서는 200μs의 크기를 가진 서브 슬롯이 3.2개 필요하며, 주어진 2ms의 한 프레임 안에 16개의 ONU들이 모두 등록할 수 있다.

위 결과를 검증하기 위하여 이항 분포의 확률 질량 함수를 적용하여 각 서브 슬롯에서 ONU가 등록될 확률을 구할 수 있다. N회 독립시행에서 어느 사건이 각 회에 일어날 확률은 P이고, 일어나지 않을 확률을 1-P라 하면 이러한 시행에서 사건이 일어난 횟수가 K회라면 횟수 K의 확률은 다음과 같다.

$${}^N C_K \times P^K \times (1-P)^{N-K} \quad (6)$$

(6)식을 이용하여 Registration Request 패킷이 성공할 확률은 다음과 같다.

$${}_{16} C_K 2 \left(\frac{t_{RR} + t_{on/off}}{t_{s-frame}} \right)^K \left(1 - \frac{2(t_{RR} + t_{on/off})}{t_{s-frame}} \right)^{16-K}$$

(6)식에 서브 슬롯에서 발생할 수 있는 패킷 수를 적용시키면 하나의 서브 슬롯에서 성공할 ONU의 개수가 계산된다. 결과를 통해 처음 서브 슬롯 범위 중에서 Registration Request 패킷이 성공할 ONU 개수는 4.5개, 두 번째 서브 슬롯 범위에는 6.4개, 세 번째 서브 슬롯에서는 나머지 ONU들이 등록에 성공한다. 이 항 분포의 확률 질량 함수를 적용한 결과 역시 ALOHA 프로토콜에서의 ONU 등록 성공률 분석과 일치함을 알 수 있다.

V. 시뮬레이션에 의한 성능평가

ONU 초기 등록에서의 성공 확률을 평가하기 위하여 ALOHA 기반의 경쟁 구간에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 수학적 분석과 동일하게 프레임 타입을 설정하였고, ONU 개수를 더 증가시킨 경우도 고려하였다. 성능 평가를 위한 파라미터는 다음과 같이 측정하였다.

- 성공률 = $\frac{\text{성공한 Registration Request 패킷수}}{\text{액세스한 Registration Request 패킷수}}$
- 프레임 타임 : 2ms

그림 4는 프레임 수에 따른 초기 등록 성공률을 나타낸 그래프이다. 프레임 타임이 2ms일 경우에 등록을 시도하는 ONU의 개수가 16개이면 약 93%의 성공률을 나타내고, 32개일 경우 약 87%의 성공률을 갖는다. 두 프레임 타임동안에는 98% 이상의 성공률을 보여주며 세 프레임 이상이면 거의 모든 ONU들이 초기 등록에 성공함을 알 수 있다.

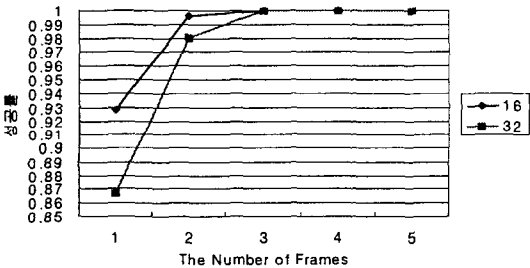


그림 4. 프레임 수에 따른 초기 등록 성공률

그림 5는 서브 슬롯의 크기에 따른 초기 등록 성공률을 나타내었다. 등록하려는 ONU가 적을수록 더 높은 성공률을 보여주고 있다. ONU의 개수를 짝수개의 단위로 증가시킬 경우에 각 서브 슬롯에서의 성공률은 줄어들었다. 서브 슬롯이 200μs일 때, 등록을 시도하는 개수가 8이면 75%, 12이면 66%, 16이면 60%의 성공

률을 나타내었다.

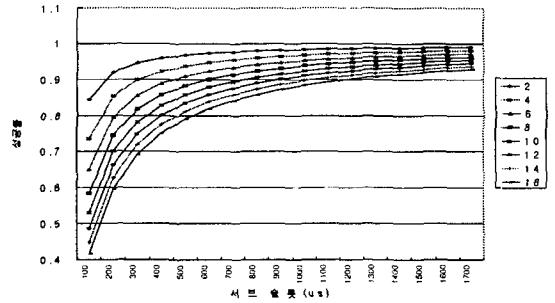


그림 5. 서브 슬롯 크기에 따른 초기 등록 성공률

VI. 결론

본 논문은 이더넷 기반 수동 광 가입자망에서 다수의 ONU들이 OLT에 초기 등록을 수행하기 위해 필요한 프레임 수를 제안하였다. 초기 등록을 위해 OLT가 등록을 허용하는 정보를 보내면 ONU는 등록을 시도하는 Registration Request 패킷을 OLT에게 보내어 등록을 시도한다. ALOHA 프로토콜을 이용하여 ONU들이 등록을 시도할 때, 충돌이 발생할 수 있으며, 이 확률을 수학적으로 분석하여 요구되는 프레임 수를 유추하였다. 정확한 분석을 위해 하나의 프레임을 다수의 서브 슬롯으로 나누어, ONU가 등록을 성공하기 위해 필요로 하는 서브 슬롯 수를 구하였다. 또한 초기 등록에서의 성공률을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 실시하여 수학적 분석의 타당성을 검증할 수 있었다. 수학적 분석을 통해 2ms 프레임 타임 안에 16개 이하의 ONU들이 초기 등록을 성공하였으며 시뮬레이션 결과를 통해서도 90%이상의 성공률을 구할 수 있었다. 특히 서브 슬롯을 고려할 경우에 서브 슬롯 크기가 증가할수록 초기 등록 성공률이 증가함을 볼 수 있었다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] Kleinrock, L. Queuing Systems, Vol. II: Computer Applications, New York: Wiley, 1976.
- [2] G. Pesavento and M. Kelsey, PONs for the broadband local loop, Lightwave, PennWell, vol. 16, no. 10, pp68-74, September 1999.
- [3] B. Lung, PON architecture 'futureproofs' FTTH, Lightwave, PennWell, vol. 16, no.10, pp.104-107, September 1999.
- [4] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force.