

EPON을 위한 서비스별 대역폭 할당 알고리즘 설계

조병희^{○*} 정민석^{*} 류상률^{**} 김승호^{*}

^{*}경북대학교 컴퓨터공학과

^{**}청운대학교 컴퓨터공학과

bhjo[○]@mmlab.knu.ac.kr, msjung@mmlab.knu.ac.kr, rsr@cwunet.ac.kr, shkim@knu.ac.kr

Bandwidth allocation algorithm by type-of-service for Ethernet PON

Byoung-Hee Jo^{○*}, Min-Suk Jung^{*}, Sang-Ryul Ryu^{**}, Sung-Ho Kim^{*}

^{*}Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

^{**}Dept. of Computer Science, Chungwoon University

요 약

VOD, HDTV, 라이브 스트리밍 등의 서비스가 늘어나면서 FTTH(Fiber To The Home)의 고비용과 설비 문제를 해결하기 위한 대안으로 PON(Passive Optical Network)이 부상하고 있다. 가입자망의 구조가 다양하게 진화하고 광 이더넷 기술이 발전하면서 가입자에게 최적의 대역폭을 할당하기 위해 서비스별 대역폭 할당방식이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 사용자의 대역폭 요구에 따라 OLT(Optical Line Termination)가 각 ONU(Optical Network Unit)에게 서로 다른 방식으로 대역폭을 파장별로 적절하게 할당하는 파장 다중 분할 Ethernet PON모델에서 스트리밍 서비스를 위한 모델을 제시하고 구현한다. 또한, 이더넷 지연에 대한 분석을 통해 모델의 효율성을 제시한다.

1. 서 론

PON은 광 신호를 이용하여 FTTH, FTTB, FTTC 등을 구현함으로써 가입자에게 대용량의 대역폭을 제공한다. PON은 OLT와 ONU가 망의 양단에 위치하고, 수동 광 분배기(Splitter나 Coupler)에 의해 광신호가 분할되는 트리 모양의 구조이다[1][2][3]. EPON은 전송방향에 따라 이더넷 망에서 서버의 역할을 하는 OLT에서 클라이언트의 역할을 하는 ONU로 구성되며 데이터를 전송 시 분배기를 통해 모든 ONU들에게 방송(Broadcasting)되므로 특별한 제어가 필요 없다. 하지만 ONU에서 OLT로 전송하기 위해서는 각 ONU에서 OLT로 보내는 신호들이 서로 충돌이 일어나지 않게 두 가지 핵심 기술이 필요하다. 첫 번째인 배치(Ranging) 프로토콜은 각 ONU에게 주어진 시간에 맞추기 위해 물리적으로 거리가 다른 ONU를 가상적 거리가 동일하도록 하는 프로토콜이다. 두 번째로는 매체를 공유하는 ONU들이 충돌 없이 데이터를 전송하기 위해서 사용되는 MAC 프로토콜이다[4].

멀티캐스팅이 지원되고 100개 채널(@4.2Mbps)을 서비스하는 경우 420Mbps의 메트로 대역폭이 상시 필요하게 된다. 또한 인터넷 트래픽이 제공되어야 하기 때문에 차별화된 서비스가 제공되어야 한다. 동적 대역폭 할당방식에서 우리는 ONU가 발생시킨 트래픽을 우선 순위 서비스별로 Best Effort(BE), Assured Forwarding (AF), Expedited Forwarding(EF)로 분류한다. 이 중 EF 서비스는 음성 데이터나 영상 데이터 같은 지연(Delay)에 영향을 많이 받는 서비스이다. 이에 반해 AF 서비스나 BE 서비스의 경우에는 파일 전송이나 e-mail 같은 서비스로 지연에 대해서는 EF보다 민감하지 않다.

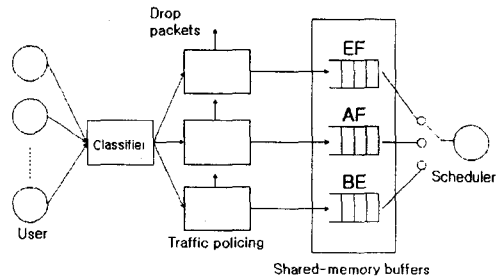


그림 1. 우선 순위 서비스별 분류

ONU의 서비스 형태에 따라 상향 전송에서는 최적의 대역폭 할당을 보장하기 위해 자기 유사성을 가지는 트래픽을 좀더 세분화된 분포에 따라 다른 대역폭 할당 방법을 적용시켜 좀 더 향상된 대역폭 할당 방법이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 대역폭 할당을 위한 파장 다중 분할 EPON 가입자의 서비스별 대역폭 요구에 따라 각 ONU에게 서로 다른 방식으로 대역폭을 할당해주는 알고리즘을 제안한다. 그리고 성능분석을 위해 서비스별 대역폭 할당방식 모델을 구현하고 이더넷 지연을 통해 모델에 대한 효율성을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 서비스별 파장 다중 분할 EPON의 구조에 대해서 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 서비스별 대역폭 할당 방식에 대해 기술하며, 4장에서는 시뮬레이션 및 분석 결과를 설명한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고 향후 연구과제를 기술한다.

2. 서비스별 파장 다중 분할 EPON의 구조

파장 다중 분할 EPON은 광 섬유, 수동 광 스플리터(Splitter)/커플러(Coupler), 커넥터 등이 있으며 그림 1에서와 같이 OLT와 ONU 같은 능동망 요소들은 PON의 양단(End Point)에 위치하게 된다. 그리고 수동 광 분배기로 구성되고, 하나의 OLT에 수동 광 분배기를 통해 최대 64개의 ONU가 연결되며, OLT와 ONU의 최대 거리는 20km로 배치된다. 하향 스트림을 n개의 파장으로 할당할 수 있는 구조이다[4].

하향 스트림에서 OLT가 가변길이 패킷 형태의 데이터를 모든 ONU에게 방송한다. 각 패킷들은 특정 ONU를 위한 유일한 식별자를 헤더에 포함하고, 수동 광 분배기를 통해 ONU 개수만큼의 신호로 분리한 다음 ONU에게 최종적으로 전달한다. 이 때, 각 ONU는 자신에게 해당되는 패킷인 경우에만 받아들이고, 다른 ONU에게 해당되는 패킷일 경우 파기시킨다. 상향 스트림은 여러 ONU가 한 선로를 공유하기 위한 다중 접속 프로토콜을 필요로 하는데, OLT는 각 ONU들이 서로간의 전송 충돌을 피하기 위해 시분할다중접근(TDMA : Time Division Multiple Access)방식을 사용하여 각 ONU가 할당된 타임 슬롯에만 자신의 패킷을 전송한다. 상향 스트림의 대역폭 확장을 위해 1.3 μ m대의 파장을 DWDM(Dense WDM) 방식으로 n개의 파장으로 분할하여 그림 2와 같은 파장 다중 분할 EPON을 구성한다.

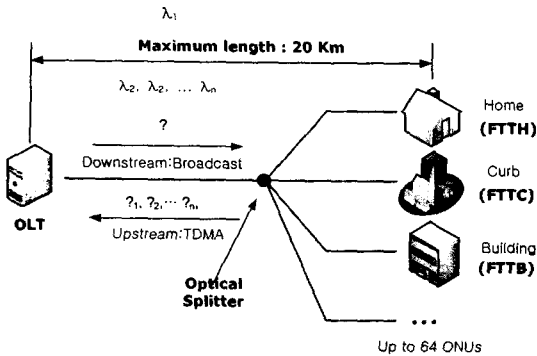


그림 2. 파장 다중 분할 EPON

각 ONU들은 데이터 전송을 위한 8개의 큐를 가지고 있으며 ONU에서 OLT로 보내는 REPORT 메시지는 큐를 나타내기 위한 Report bitmap field와 각 큐의 정보를 담은 Queue #n Report field로 구성되어 있다. OLT에서 ONU로 보내는 GRANT 메시지는 각 큐의 Start time과 Grant #n Length이 포함되어 있다. Grant #n Length에는 laser_on_time, syncTime, 그리고 laser_off_time이 포함되어 있다.[5]

ONU는 IP 패킷을 검사가능하며 트래픽의 우선순위를 구별하기 위하여 각 인터넷 프레임에서의 IP 패킷에 있는 type-of-service(TOS) 필드를 사용한다. 이 TOS 필드에 따라 8개의 큐에 우선 순위가 맞게 들어간다.

3. 파장 다중 분할 EPON에서의 서비스별 동적 대역폭 할당방식

ONU는 사용자로부터 받은 패킷들로부터 TOS 필드를 분석한 후 각각에 맞게 큐에 삽입한다. 큐는 8개로 구성되어 있으며 가장 높은 순위의 큐를 1번으로 시작하여 가장 낮은 순위의 큐를 8번으로 한다. 사용자로부터 패킷이 도착하였을 때 EF 서비스를 받아야 한다면 큐 1번에 삽입하며 큐 1번이 가득차게 되면 2번에 삽입한다. 이와 반대로 AF 서비스와 BE 서비스의 경우에는 8번 큐부터 삽입한다. EF 서비스에서 큐 1번이 다 차게 되면 다음 큐를 채운다. AF 서비스와 BE 서비스에 대한 최소한의 대역폭을 제공하기 위해서 EF 서비스를 받아야 하는 패킷이 계속 온다고 해서 8번 큐까지 채우지는 않는다. 몇 개의 큐에만 EF 서비스를 받고자 하는 패킷을 삽입하고 나머지 패킷은 다음 전송 때 보내기 위해 버퍼에 놓는다. 게다가 이렇게 지연이 발생한 비디오나 음성 데이터의 경우에는 늦어버리면 의미가 없어지므로 두 번 늦어지는 패킷은 폐기시킨다. 반면에 AF 서비스와 BE 서비스의 경우에는 큐 1번까지 채울 수가 있다.

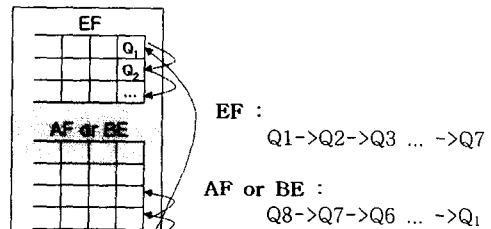


그림 3. 서비스별 큐 삽입

각 ONU는 자신이 필요로 하는 대역폭을 요청하기 위해 OLT에게 REPORT 메시지를 보낸다. 이 GATE 메시지 안에는 EF 서비스와 AF 서비스 그리고 BE 서비스에 대한 정보도 함께 포함되어 있다. 즉 각 서비스를 필요로 하는 패킷이 큐에 어느 정도 있는지와 전송을 시작하는 시간에 대한 정보가 포함되어 있다.

인터넷 트래픽은 자기 유사성(self-similar) 트래픽이라고 알려져 있다[6]. 자기 유사성 트래픽을 나타내기 위해 자기 상관 모델을 사용하는데 이는 하나의 파라미터를 사용해 자기 상관 정도를 나타낼 수 있기 때문이다. 이 파라미터를 Hurst 파라미터라 하며 1에 가까울수록 자기 유사성이 높다는 것을 의미한다. 자기 유사성 트래픽은 다른 분포를 가지는 트래픽의 혼합의 경우에도 자기 유사성 트래픽의 특징을 가진다. 그래서 인터넷 트래픽을 두 가지로 분류를 한다. HDTV같은 비디오나 음성 데이터의 경우에는 다른 데이터에 비해 변화의 폭이 크기 않다. 이 때 그림 4과 같이 스트리밍이 되기 시작하는 트래픽의 분포는 트래픽의 변화 정도가 어느 정도 일정한 정규 분포를 따르게 되어 이외의 트래픽에 대해서는 자기 유사성 분포를 따른다.

스트리밍 트래픽에 대해서는 ONU에게 요구 대역폭을 제공하기 위해 다음과 같이 정의한다.

$q_i(n)$: n 사이클에서 i번째 ONU의 큐의 길이

$a_i(n)$: i번째 ONU에 도착한 추가 패킷 크기

$W_i(n)$: i번째 ONU에 할당된 대역폭

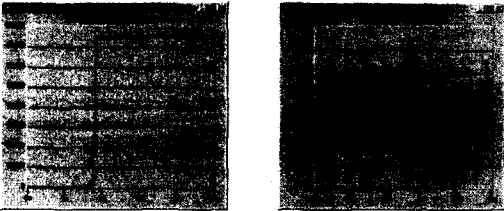


그림 4. Streaming Traffic과 Self-similar Traffic

$d_i(n)$: i번째 ONU가 전송한 패킷 크기

$R_i(n)$: $W_i(n)$ 과 $q_i(n-1)+a_i(n-1)$ 의 차이

그러면 다음 사이클에 대한 큐의 길이는

$$q_i(n+1) = q_i(n) + a_i(n) - d_i(n)$$

로 표현할 수 있으며

$$R_i(n+1) = W_i(n) - (q_i(n-1) + d_i(n-1))$$

로 나타난다. 스트리밍 데이터의 경우에는 전송이 시작되고 나면 R_i 값이 0에 가까운 값을 가지게 된다. 즉 $W_i(n+1)$ 은 $W_i(n)$ 와 거의 같은 값을 가지게 된다.

인터넷 트래픽에 대해서는 이 $R_i(n+1)$ 값을 예측하기가 쉽지 않다. 따라서 GRANT 메시지를 받고 데이터 전송 후 REPORT 메시지를 보낼 때 $q_i(n+1)$ 을 계산한다.

4. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 파장 다중 분할 EPON에서의 서비스별 대역폭 할당방식의 성능을 OPNET으로 시뮬레이션하고 결과를 분석한다. 상향 트래픽의 할당 방식에 중점을 두었기 때문에 하향으로의 데이터 트래픽은 고려하지 않는다. 그리고 모든 ONU들이 초기 부팅 과정을 거쳐 배치가 완료된 상태라고 가정하고 실험하였다. 패킷의 크기는 정규 분포와 Heavy-tail의 특성을 보이는 파레토 분포(Hurst parameter=0.8)를 가지며 패킷을 발생시키는 간격은 지수 분포으로 생성했다. 1개의 OLT에 32개의 ONU를 설치하였다.

그림 5는 OPNET을 이용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 인터넷 트래픽을 나타내는 파레토 분포만을 가지는 모델인 경우보다 스트리밍 데이터를 위한 정규 분포와 일반적인 인터넷 트래픽을 생성하는 분포를 분리하여 처리함으로써 망에서의 지연을 줄였다.

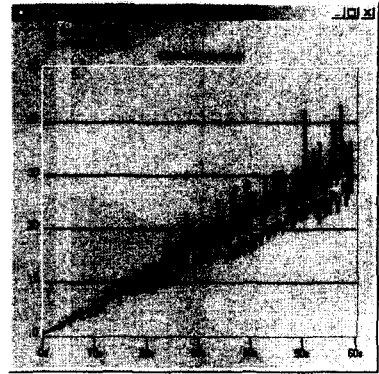


그림 5. Ethernet Delay

5. 결론

이더넷을 통한 VOD, HDTV, 라이브 스트리밍 등의 서비스가 늘어나고 있다. 데이터의 지연에 민감한 데이터 전송을 위해 서비스별 다중 파장 할당 방식을 제안하였다. 인터넷 트래픽 중에서 지연에 민감한 스트리밍 데이터에 대해서는 별도로 처리를 함으로써 성능 향상을 가져왔다.

향후에는 본문에서 가정하고 있는 배치과 TOS 필드의 사용 외에 다른 Diffsev를 위한 여러 가지 방법들을 EPON에 적용시킬 방법들에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local loop", Lightwave, Vol. 16, No. 10, pp. 68-74, Sep. 1999
- [2] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband Optical Access Systems Based on PON", Geneva, Oct. 1998.
- [3] G. Peavento and M. Kelsey, "Ethernet Passive Optical Network(EPON) : Building a Next Generation Optical Access Network", IEEE Communications Magazine, Feb. 2002.
- [4] M. S. Jung, Y. S. Chang, J. H. Eom, and S. H. Kim, Variable TDMA MAC Protocol for WDM EPON, In Proceeding OECC, 2003, Shanghai, China.
- [5] Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for Subscriber Access Networks, IEEE Draft P802.3ahTM/D2.0, Sep. 2003.
- [6] M.Crovella and A.Bestavros, Self-similarity in World Wide Web Traffic : Evidence and Possible Causes , IEEE Transactions on Network, Vol.5, No6, December, 1997