
상향트래픽 과장분할 EPON에서 우선순위 큐를 고려한 차등대역폭 할당방법

서창진*, 장용석**

Differential Bandwidth Allocation Method using Upstream Bandwidth Wavelength Division of EPON

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

요 약 최근 기간망의 전송속도는 괄목할 만한 성장을 이루고 있으나 가입자 전송망의 전송속도는 이전 수준에 비교해서 진정이 없는 상태이다. 그래서 가입자 접속 구간은 다수의 LAN과 백본망 사이에 병목지점으로 지적되고 있다. 현재 가입자 구간은 VOD, 양방향게임, 양방향 영상회의와 같은 새로운 대용량 멀티미디어 서비스를 수용하기에 충분한 대역폭을 제공하지 못하고 있다. 그런 가운데 저가의 이더넷 장비와 광선로 인프라를 융합한 EPON(Ethernet Passive Optical Network)이 차세대 가입자 접속망에 가장 적합하다. 하지만 이러한 우수성을 가진 EPON도 안정적인 대용량 멀티미디어 서비스를 제공하기에는 부족함을 가지고 있다. EPON에서 ONU가 수신할 수 있는 대역폭은 1GBPS이지만 송신하기 위한 대역폭은 모든 ONU가 공유해야 하므로 부족하다. 따라서 양방향 초고속 가입자 접속망을 위해 FTTx를 지원하는 EPON의 부족한 상향 전송 대역폭을 충족시키는 상향 대역폭 할당 방법이 필요하다. 본 논문에서는 EPON의 상향 트래픽에 대한 QoS를 보장하기 위한 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등대역폭 할당 방식을 제안한다.

주제어 : EPON, 우선순위큐, 차등대역폭할당방법, QoS

Abstract The subscriber access network is cause of the bottleneck phenomenon because equipment and infrastructure were not originally designed for busy high-bandwidth traffic between MAN(Metro Area Network) and LAN(Local Area Network). Whether riding on shorter copper drops or optical fiber, Ethernet is emerging as the future broadband protocol of choice, offering plug and play simplicity, and low cost. EPON(Ethernet Passive Optical Network) combines point-to-multipoint optical infrastructure with low-cost high-bandwidth Ethernet. The future broadband access network will be a combination of point-to-point and point-to-multipoint Ethernet, optimized for transporting IP data, as well as time critical voice and video. EPON is being considered as a novel communications infrastructure for next-generation broadband access network for the convergence of low-cost Ethernet equipment and low-cost fiber infrastructure. But, EPON has a problem with duplex multimedia services. It is the insufficiency of bandwidth for upstream. Because all ONUs use a shared transmission media for upstream. 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.

Key Words : EPON, QoS, Differential Bandwidth Allocation Method

1. 서론

인터넷을 기반으로 한 멀티미디어 서비스에 대한 수

요가 급격히 증가하고 있는 정보화 사회에서 초고속 통신망을 구축하는 것은 국력을 나타내는 중요한 지표가 되고 있다. 이러한 이유로 세계 많은 선진국은 초고속 통

*성덕대학교

**㈜다올디엔에스

논문접수: 2012년 5월 16일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 5월 23일

신망을 구축하기 위해 기간망과 가입자 접속망의 전송 속도에 관련된 많은 프로젝트를 수행하고 있다.

FTTH 구성은 광케이블 포설 등 대규모 시설 투자의 경제적인 측면 때문에 통신사업자들은 진화 중간 단계의 계획들을 통신 환경에 맞게 다양한 방법으로 FTTH 형태에 접근하고 있고, 이러한 방법들에는 xDSL(Digital Subscriber Line), HFC(Hybrid Fiber Coaxial) 혹은 MCNS(Multimedia Cable Network System), FTTC(Fiber to the Curb/Cabinet), 이더넷 스위치 기반의 이더넷 접속망 등이 있다.

가입자 접속망 구성에 있어서 요구사항은 다음 4 가지로 요약할 수 있다. 첫째는 임의의 대역폭을 융통성 있게 할당해 줄 수 있어야 하고, 둘째는 전화국과 가입자 사이의 거리에 무관하게 서비스가 가능해야 한다. 셋째 가입자의 형태에 관계없이 단일한 플랫폼에서 저가로 구현 가능해야 한다. 마지막으로 어떤 특정 가입자 형태에 초점을 맞추지 않고 일반적인 가입자를 수용할 수 있는 가입자망 접속 장치에 대하여 새롭게 개념을 정립해야 할 필요가 있다.

이러한 이유로 IEEE 802 LMSC에서는 일반 가입자를 수용할 수 있는 저가의 가입자 접속장치에 대한 개념을 정립하기 위해서 First Mile(가입자 댁내와 인접국사 또는 인접 중계 노드간)에 이더넷을 도입하는 것을 목적으로 하는 Ethernet in the First Mile Study Group을 출범시켰다. 이는 2000년 11월 미국 플로리다 Tampa에서 열린 LMSC Plenary Meeting에서 정식승인을 받아 출범하였으며, 2001년 3월 Plenary meeting을 포함하여 총 3회의 SG Meeting을 통해 Task Force로 승인 받았고, 3월 Plenary Meeting을 통해 PAR(Project Authorization Request)과 5 Criteria가 802.3 WG의 승인을 받았다.

PAR 내용 중에서 주목할 것은 IEEE 802.3의 이더넷 관련 표준 제정시 CSMA/CD MAC(Media Access Control)을 고수해 왔던 관행에서 벗어나 MAC 동작의 변경을 표준화 범위에 포함시켰다는 것이다. 이는 성형 또는 트리 형태의 구조를 갖는 PON(Passive Optical Network)으로 가입자 접속망을 구성하였을 경우 이더넷 프레임은 CO(Central Office)의 OLT(Optical Line Termination)와 ONU(Optical Network Unit) 사이에서 주고받기 위해서는 반드시 MAC의 변경이 있어야 한다는 것을 반증한다. 이러한 상황에서 등장한 EPON기술은 차세대 가입자 접속망의 대안이라 할 수 있다[1].

EPON은 FTTx를 통합하여 궁극적인 가입자 접속망 형태인 FTTH까지 지원하므로 차세대 가입자 접속 방식으로서 중요한 의미를 가진다. 그러나 EPON은 하향으로 최대 1Gbps 전송 대역폭을 사용할 수 있지만 상향 전송 대역폭은 각각의 ONU가 대역폭을 나누어 사용하기 때문에 부족하다. 그러므로 양방향 초고속 가입자 접속망을 위해 FTTx를 지원하는 EPON의 부족한 상향 전송 대역폭을 충족시키는 과장 분할 EPON 기술이 필요하다.

2. 파장 분할 EPON

광섬유를 이용한 트래픽 전송은 대용량 데이터를 전송하기에 유리하지만 전화국과 모든 가입자를 점 대 점(Point to Point)으로 연결하게 되면 막대한 설치비용과 광섬유 비용으로 인해 경제적으로 비효율적인 단점이 있다. 따라서 전화국과 가입자간을 점 대 다점(Point to Multipoint)인 PON으로 구성하게 되면 재생기, 증폭기, 레이저 등의 능동 소자를 없애고 단순히 OLT와 ONU 및 수동 소자 들로만 구성하게 됨으로써 필요 없는 장비를 줄여 경제적인 이득과 함께 효율적인 망을 구성할 수가 있다.

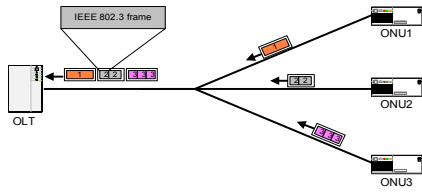
EPON의 하향 스트림은 점 대 다점으로 방송되기 때문에 접근 제어가 필요 없는 반면에 상향 스트림은 다점 대 점 형태로 공유매체를 접근하기 때문에 충돌을 방지하기 위하여 다중 접속 제어 프로토콜이 필요하다.

[그림 2-1](a)는 각 ONU들이 OLT에게 데이터를 전달하는 상향 트래픽을 나타낸다. 상향 트래픽은 각 ONU들이 다른 ONU 데이터와 전송 충돌을 피하기 위해, 각각에게 주어진 타임슬롯으로 데이터를 전달하는 TDMA 방식을 사용한다.

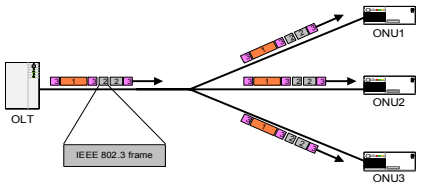
EPON에서 사용하는 데이터는 이더넷 프레임으로 가변 길이이다. 하향 스트림 방향에서 OLT가 전송하는 이더넷 프레임은 1:N 수동 광 분배기를 통하여 각 ONU에 도달한다. 분배비는 전형적으로 4~64이다. 이더넷은 방송형이기 때문에 EPON 구조와 일치한다.

[그림 2-1](b)는 하나의 OLT가 여러 개의 ONU에게 데이터를 전달하는 하향 트래픽을 나타낸다. [그림 2-1](b)에서 보이는 것처럼 하향 트래픽은 OLT로부터 ONU까지 방송된다. 각 프레임들은 목적지 ONU 주소를 가지고 있으므로 각 ONU는 자신에게 해당되는 프레임

만 받고 나머지 프레임들은 과기시킨다. 상향 스트림 방향에 수동 광 결합기의 방향성으로 인하여 특정 ONU에서 보낸 프레임은 OLT에게만 도달하고 ONU는 받을 수 없다. 이러한 면에서 EPON 상향 스트림 동작은 P2P 구조의 동작과 비슷하다. 그러나 P2P 네트워크와 달리, 다른 ONU에서 동시에 보낸 이더넷 프레임은 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 상향 스트림 방향에 ONU는 광선로 채널 용량과 자원을 공유할 필요성이 있다[2].



(a) EPON의 상향 트래픽 흐름



(b) EPON의 하향 트래픽 흐름

[그림 2-1] EPON의 트래픽 흐름

모든 ONU는 자신이 필요한 만큼의 타임슬롯을 할당받기 때문에 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있다. 그러나 OLT는 수집된 ONU의 버퍼 정보를 이용하여 스케줄링을 수행하기 때문에 스케줄링으로 인한 지연시간이 발생할 수 있다. 이 방식은 ONU가 요청한 타임슬롯 개수와 OLT가 ONU에 할당한 타임슬롯 개수가 다를 수 있다. 이러한 대역폭 할당 방식들에 있어서 QoS를 보장하기 위해서는 트래픽의 특성을 고려하여 대역폭을 할당하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 EPON의 상향 대역폭 부족현상을 개선하기 위해 기존에 EPON의 상향 트래픽을 파장 분할 방식으로 확장한 모델을 설계하고 이에 적합한 파장 배정 방법과 QoS를 보장하기 위해 사용된 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방식을 제안한다. 시뮬레이션 모델은 OPNET으로 구현하며, 구현된 파장 분할 EPON 모델에 대해서 실험을 통하여 적절한 가중치를 산정하여, 단대단 지연(End to end delay)에 대한 성

능분석을 통해서 제안된 방식의 우수성을 검증한다.

3. 우선순위 큐를 고려한 차등 대역폭 할당 방법

본 절에서는 MPCP와 호환되고 저순위 트래픽의 큐잉 지연 문제를 해결하고 우선순위 트래픽 전송을 보장하기 위해 우선순위를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방법을 파장 분할 EPON 모델에 적용하는 것을 제안한다.

제안된 가중치 기반 차등 대역폭 할당 방식은 2 단계 과정으로 나누어진다. 1 단계 과정은 고순위와 저순위 요구대역폭을 각각의 요구 비율에 맞게 할당하는 과정이고 2단계 과정은 요구 비율에 맞게 할당된 대역폭을 우선순위를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방법에서 ONU가 실제로 OLT로 전송하게 되는 큐의 정보에 기반을 둔 요구 대역폭은 식 (3-1)과 같이 표현된다.

$$B_I^R = H_I^R + L_I^R \quad (3-1)$$

만약 ONU의 대역폭 요구에 있어서 OLT가 모든 ONU에게 한꺼번에 버퍼 내용을 보내도록 허용한다면 많은 트래픽을 가진 ONU가 전체 대역폭을 점유할 수 있다. 이런 상황을 피하기 위하여 OLT는 한 사이클 내에서 ONU의 최대 전송 윈도우의 크기를 제한함으로써 모든 ONU는 최대 전송 윈도우 크기를 넘지 않는 범위에서 요청한 크기의 GATE 메시지를 받는다. 전송 윈도우 크기를 넘지 않는 방법으로는 SLA에 따라 고정시키거나 네트워크 상황에 따라 동적으로 지정 할 수 있다[3]. 본 논문에서는 ONU의 최대 전송 윈도우 크기를 W_{max} 라고 정의 하고, W_{max} 의 값을 식 (3-2)와 같이 제한하여 임의의 ONU가 최대 전송 윈도우 크기 이상의 대역폭 보장을 요구하지 못하도록 한다. ONU로 진입하는 트래픽에 대한 SLA 정책 중에서 큐 크기에 대한 트래픽 폐기 방법은 본 논문에서 다루는 기술 범위에 포함시키지 않는다.

$$W_{max} = \frac{B_{max}}{n} \times 2 \quad (3-2)$$

또한, OLT가 ONU의 대역폭 요구를 승인하는 대역폭 할당은 식 (3-3)과 같다.

$$B_i^G = H_i^G + L_i^G \quad (3-3)$$

제안된 가중치 기반 차등 대역폭 할당방식의 1단계 과정은 먼저, 식 (3-4)와 같이 고순위와 저순위 트래픽에 대한 대역폭 요구량의 비율을 계산하고 이 요구 비율에 맞게 고순위와 저순위 트래픽에 대한 대역폭을 식 (3-5)과 같이 할당한다.

$$r_h = \frac{H_{sum}^R}{B_{sum}^R}$$

$$r_l = \frac{L_{sum}^R}{B_{sum}^R} = 1 - r_h \quad (3-4)$$

$$B^G(i) = \begin{cases} B_i^R, & B_{max} \geq B_{sum}^R \\ B_i^R, & otherwise \end{cases}$$

where

$$B_i^R = (B_{max} \times r_h) \times \frac{H_i^R}{H_{sum}^R} + (B_{max} \times r_l) \times \frac{L_i^R}{L_{sum}^R} \quad (3-5)$$

```

Weighted Bandwidth Allocation ( $B_i^G, H_i^G, L_i^G, H_i^R, L_i^R, w$ )
FOR  $p = 0.01 : 1$ 
 $\alpha \leftarrow p \times L_i^G$ 
 $T_H \leftarrow H_i^G + \alpha$ 
 $T_L \leftarrow L_i^G - \alpha$ 

IF  $T_H > (H_i^R \times w)$  OR  $T_L > (L_i^R \times w)$  THEN
    BREAK
END IF

IF  $T_L < (L_i^R \times (1-w))$  OR  $T_L < (B_i^G \times (1-w))$  THEN
    BREAK
END IF
END FOR

 $H_i^G \leftarrow T_H$ 
 $L_i^G \leftarrow T_L$ 
    
```

[그림 3-1] 가중치 기반 차등 대역폭 할당 방법

이러한 식 (3-4)와 (3-5)에서 설명된 것처럼 1단계 과정이 끝나면 OLT는 트래픽 우선순위에 대한 가중치를 적용시켜 대역폭을 재할당 하는 2 단계 과정을 거친다. 그림 3-1은 2단계 과정을 나타내는 알고리즘이다. [그림 3-1]에서 p 는 1단계 과정에서 할당된 저순위 트래픽에 대한 대역폭에서 고순위 트래픽을 위한 대역폭으로 양보 할 비율을 나타내고, α 는 p 에 할당된 저 순위 트래픽의 양을 곱하여 계산된 대역폭 양을 가리킨다.

[그림 3-1]의 동작은 1 단계 과정을 통해서 계산된 H_i^G, L_i^G 를 고순위 트래픽에 대한 대역폭이 요구한 대

역폭 H_i^R 혹은 B_i^G 의 w 비율까지 증가하거나 저 순위 트래픽에 대한 대역폭이 요구한 대역폭 L_i^R 혹은 B_i^G 의 $(1-w)$ 비율이 될 때까지 감소하면서 대역폭을 조정한다. 즉, 저순위 트래픽을 위한 대역폭을 가중치만큼 감소 시키면서 발생한 여유 대역폭을 고순위 트래픽을 위해 할당한다. 따라서 본 논문에서 제안한 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방법은 1 단계 과정과 2 단계 과정을 거치면서 저 순위 트래픽의 큐잉 지연 문제를 해결하고 고순위 트래픽의 우선순위 전송을 보장 할 수 있다.

4. 성능 분석

본 논문에서 제안한 모델의 성능을 분석하기 위해서 OPNET 시뮬레이션 도구를 이용하여 구현된 파장 분할 EPON 모델의 구성은 <표 4-1>과 같다.

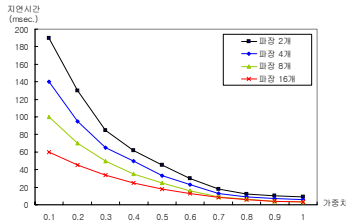
<표 4-1> 파장 분할 EPON의 구성

파라미터	값
OLT : ONU	1 : 16
채널 속도	1Gbps
파장수	하향 스트림 : 1개 상향 스트림 : 4개
OLT와 ONU간 거리	20Km

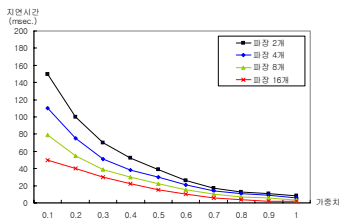
제안된 모델의 성능을 측정하기에 앞서서 가장 먼저 산정 되어야 할 파라미터는 고순위 트래픽의 QoS를 보장할 수 있는 가중치 값이다. 이러한 가중치 값을 산정하기 위해서 본 논문에서는 ONU 개수가 32개이고 파장을 증가시킬 수 있는 초기 모델을 제작하였다. [그림 4-1]은 제작된 초기 모델에 기반하여 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1이고 부하율이 1을 유지할 때, 파장 개수 증가(2,4,8,16)와 가중치 증가에 따른 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 단대단 최대 지연 시간과 평균 지연 시간을 나타낸다.

[그림 4-1]의 (a)와 (b)는 부하율이 1을 유지할 때 파장 개수 증가와 가중치 증가에 따른 고순위 트래픽이 가지는 최대 지연 시간(a)과 평균 지연 시간(b)을 나타내며, [그림 4-1]의 (c)와 (d)는 부하율이 1을 유지할 때 파장 개수 증가와 가중치 증가에 따른 저순위 트래픽이 가지는 최대 지연 시간(c)과 평균 지연 시간(d)을 보여준다.

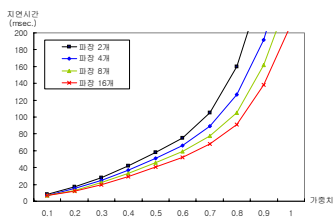
일반적으로 지연 시간에 민감한 음성과 같은 고순위 트래픽에 대한 QoS 보장을 위한 최대의 지연 시간은 10ms이다[4]. [그림 4-1]의 실험 결과에서 이와 같은 고순위 트래픽의 지연 시간을 보장해 주는 동시에 저순위 트래픽에게 가장 많은 대역폭을 할당하기 위한 가중치는 0.7 ~ 0.8 사이임을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 제안된 파장 분할 EPON 모델의 성능분석을 위해 이후의 실험에 가중치 파라미터를 0.75로 설정해 놓고 실험을 하였다.



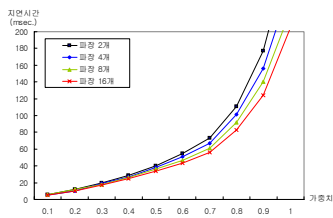
(a) 고순위 트래픽의 최대 지연



(b) 고순위 트래픽의 평균 지연



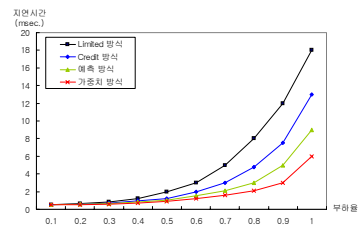
(c) 저 순위 트래픽의 최대 지연



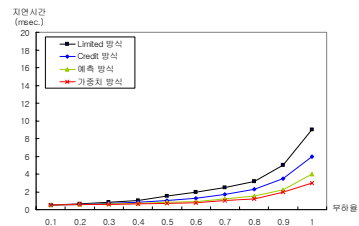
(d) 저 순위 트래픽의 평균 지연

[그림 4-1] 가중치에 대한 고순위와 저 순위 트래픽의 단대단 지연(고순위 트래픽 : 저 순위 트래픽 = 1 : 1)

[그림 4-2]는 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1일 때, 각각의 대역폭 할당 방법들에 대해 고순위 트래픽이 가지는 최대 지연 시간 [그림 4-2](a)와 평균 지연 시간 [그림 4-2](b)를 보여준다. [그림 4-2]에서 보이는 것처럼 고순위 트래픽은 부하율이 0.4이하일 때는 Limited 방식, Credit 방식, 예측 방식과 가중치 방식이 비슷한 지연 시간을 보이나, 부하율이 0.4이상일 때는 가중치 방식이 우월함을 보인다. 이러한 이유는 Limited 방식은 패킷이 도착하는 순서에 우선순위를 적용함으로써 고순위 트래픽의 큐잉지연이 많이 발생하고 예측 방식과 Credit 방식은 ONU가 현재 큐잉하고 있는 트래픽 양보다 더 많은 양을 요구하여 전체 사이클 타임이 길어지기 때문이다. 반면에 제안하는 가중치 방식은 요구한 할당량에서 저순위 트래픽 양과 고순위 트래픽 양의 비율에 맞추어 큐잉하기 때문에 전체 사이클 시간에는 영향을 미치지 않는다.



(a) 고순위 트래픽의 단대단 최대지연

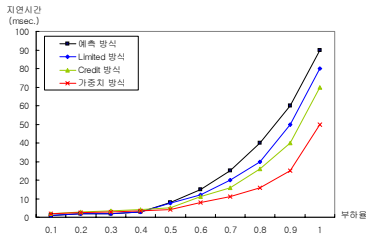


(b) 고순위 트래픽의 단대단 평균지연

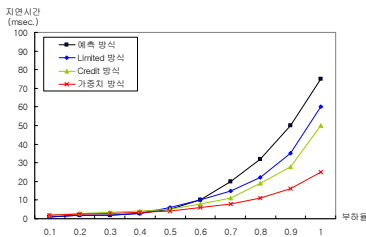
[그림 4-2] 대역폭 할당 방식에 대한 고순위 트래픽의 단대단 지연(고순위 트래픽 : 저순위 트래픽 = 1 : 1)

[그림 4-3]은 고순위 트래픽과 저순위 트래픽의 생성 비율이 1:1일 때, 대역폭 할당 방법들에 대해 저순위 트래픽이 가지는 최대 지연 [그림 4-3](a)와 평균 지연 [그림 4-3](b)을 나타낸다. [그림 4-3]에서 예측 방식, Limited 방식, Credit 방식들은 조금의 차이를 보이지만 거의 유사한 단대단 지연을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 예측 방식은 부하율이 높아짐에 따라 큐잉 되는

트래픽은 많아지지만 저순위 트래픽이 고순위 트래픽에게 전송할 수 있는 타임슬롯을 빼앗기기 때문이고 Limited 방식과 Credit 방식은 트래픽의 도착순서가 큐잉 우선순위를 결정하게 되므로 예측 방식 보다 좋은 성능을 나타낸다. 가중치 방식은 가중치를 두어 저순위 트래픽의 전송을 어느 정도 허용하기 때문에 3가지 방식 보다 저순위 트래픽의 전송지연이 낮아지는 것을 볼 수 있다.



(a) 저순위 트래픽의 단대단 최대지연



(b) 저순위 트래픽의 단대단 평균지연

[그림 4-3] 대역폭 할당 방식에 대한 저순위 트래픽의 단대단 지연(고순위 트래픽 : 저순위 트래픽 = 1 : 1)

5. 결 론

본 논문에서는 EPON의 상향 대역폭 부족현상을 개선하기 위해 기존에 EPON을 상향 트래픽 모델로 설계하였으며, QoS를 보장하기 위해 우선순위 큐를 고려한 가중치 기반의 차등 대역폭 할당 방식을 제안하였다. 실험결과 고순위/저순위 트래픽의 지연시간에 있어 제안된 방법이 Limited, Credit 방식보다 최대 50%이상 좋은 결과를 얻었다. 기존의 EPON에 설치되어 있는 채널을 그대로 활용한 상향 대역폭의 확장은 증가하는 멀티미디어 데이터를 해결할 수 있는 방법이 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] 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.
- [2] Y. J. Ma, C. H. Oh and K. S. Kim, "A MAC Scheme Based on the Cell Arrival Timing Information for Multimedia Services over ATM-Based PON," IEICE Transaction Communications, Vol.E82-B, No.10, pp.1702-1705, Oct.1999
- [3] 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.
- [4] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local loop," Lightwave, Vol.16, No.10, pp.68-74, Sep.1999.

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 ㈜다올디엔에스 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@daoldns.co.kr