

QoS 기반의 EPON 시스템에서 효율적인 차등 대역폭 할당

(Efficient Differentiated Bandwidth Allocation for QoS based Ethernet PON System)

엄종훈[†] 정민석[‡] 김승호^{***}
(Jong-Hoon Eom) (Min-Suk Jung) (Sung-Ho Kim)

요약 EPON(Ethernet Passive Optical Network)은 최근 활발하게 연구되고 있는 경제적이고 효율적인 가입자 접속망이다. 차세대 접속망인 EPON의 MAC(Media Access Control) 프로토콜은 TDMA (Time Division Multiple Access)방식을 기본으로 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위한 다양한 대역폭 할당 방식이 제안되고 있다. 기존에 제안된 방식은 고순위(high priority) 트래픽에 대한 요구 대역폭에 일정한 비율의 대역폭을 추가하여 대역폭을 할당함에 따라 전체 사이클 시간이 증가하여 패킷 지연 시간이 길어지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 QoS 기반의 EPON에서 차등 서비스(differentiated service)를 지원하는 동적 대역폭 할당을 위하여 기존에 제안된 방식의 문제점을 해결하는 효율적인 차등 대역폭 할당 방식 DBGA(Differentiated Bandwidth Gurrantee Allocation)을 제안한다. DBGA는 효율적으로 공평하게 사용자에게 대역폭을 할당하고 고순위(high priority) 트래픽에 대하여 평균 및 최대 패킷 지연에서 우수한 성능을 보여준다. 제안된 방식의 성능을 분석하고 효율성을 검증하기 위하여 OPNET을 이용하여 EPON을 모델링하고 시뮬레이션을 한다.

키워드 : 이더넷, PON, EPON, QoS, 동적 대역폭 할당

Abstract Ethernet passive optical network is an economical and efficient access network that has received significant research attention in recent years. A MAC(Media Access Control) protocol of PON, the next generation access network, is based on TDMA(Time Division Multiple Access) basically. In this thesis, we addressed the problem of dynamic bandwidth allocation in QoS based Ethernet PONs. We augmented the bandwidth allocation to support QoS in a differentiated services framework. Our differentiated bandwidth guarantee allocation(DBGA) allocates effectively and fairly bandwidths among end users. Moreover, we showed that DBGA that perform weighted bandwidth allocation for high priority packets result in better performance in terms of average and maximum packet delay, as well as network throughput compared with existing dynamic bandwidth allocations. We used simulation experiments to study the performance and validate the effectiveness of the proposed bandwidth allocations.

Key words : Ethernet, PON, EPON, QoS, Dynamic Bandwidth Allocation

1. 서 론

인터넷 서비스에 대한 수요가 하루가 다르게 늘어나고 있는 정보화 사회에서 기간당의 전송 용량은 DWDM

(Dense Wavelength Division Multiplexing) 등의 기술을 이용해 Tbps급까지 증가하고 있고, LAN의 전송 속도도 1Gbps는 보편적으로 사용되고 있으며 10Gbps는 표준화가 완성되어 상용화를 눈앞에 두고 있다. 이에 반해 현재 가입자 접속망의 전송 속도는 수 Mbps급에 그친다. 이로 인해 세계의 많은 통신 사업자는 초고속 가입자 접속망의 구축을 위한 연구들을 수행하고 있다. 그러나 이러한 접속망에 대한 연구는 통일된 형태로 수행되지 않고, 다양한 형태의 연구로 최종 목적인 FTTH (Fiber To The Home)에 접근하고 있다[1-3]. 현재의

[†] 종신회원 : KT 통신망연구소
jheom@kt.co.kr

[‡] 비회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과
msjung@mmlab.knu.ac.kr

^{***} 종신회원 : 경북대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@bh.knu.ac.kr

논문접수 : 2004년 6월 2일

심사완료 : 2004년 11월 26일

대표적인 초고속 가입자 접속망 xDSL(Digital Subscriber Line)은 향후 고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 전송 능력이 부족하고, 수요 밀집 지역에는 유리한 방식이지만, 수요 산발 지역에는 부적합한 방식이다. 이러한 상황에서 반경 20Km 내에 있는 가입자들을 FTTx의 형태로 연결할 수 있는 PON(Passive Optical Network)은 가입자 접속망의 대안으로 등장한 기술이라 할 수 있다. 또한, PON은 하나의 광케이블을 분배기(Splitter)를 통해 여러 가닥으로 분기하여 최대 64대의 광 가입자 장치가 동시에 연결되어 사용할 수 있는 구조이기 때문에 대용량 전송 능력 뿐만 아니라 구축비용이 저렴한 장점을 가지고 있다[4-8].

PON 기반으로 데이터를 전달할 수 있는 여러 가지 방법 중에서 가장 먼저 연구된 것은 ATM PON이지만 ATM 망의 복잡성과 경제성 문제로 상용화가 늦어지고 있다. 반면에, 새로운 가입자 망을 구성하려고 할 때, EPON이 두 가지 면에서 이점을 가진다. 첫째는 가격 경쟁력이 우수하다는 것이고, 둘째는 가정 내의 통신 단말기가 이더넷 인터페이스를 가지고 있다는 사실이다. 이러한 이유로 IEEE 802.3ah에서는 2001년에 EFM (Ethernet in the First Mile) 연구 그룹을 설립하고 EPON의 표준화 작업이 진행 중에 있다.

그러나, EPON은 아직 표준화 단계이고, 실험 망 또한 부족한 상황이다. 새로운 매체를 포설하고 통신 장비를 설치하려면 이에 앞서 망에 대한 성능 분석을 통하여 주어진 여건에서 필요한 망 장비의 규모를 산출해야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 OPNET을 사용해서 EPON 시뮬레이션 모델을 설계하고 구현한다. EPON 시뮬레이션 모델을 구현하기 위해서는 배치(Ranging) 프로토콜과 MAC 프로토콜이라는 핵심 기술이 요구되며, 배치 프로토콜은 ONU들이 OLT에게 트래픽을 전송할 때, 매체가 공유되는 구간에서 충돌을 방지하기 위해 서로 다른 위치에 있는 ONU들을 가상적으로 동일한 위치에 배치하는 프로토콜이다. MAC 프로토콜은 매체를 공유하는 ONU들 간의 통신을 허용하기 위해서 매체 접근을 제어하는 프로토콜을 말한다[9-12].

EPON의 MAC 프로토콜은 TDMA방식을 기본으로 하며, QoS를 보장하기 위한 다양한 방식이 제안되고 있다. [14]에서는 통신 사업자와 가입자간의 SLA(Service Level Agreement)에 근거하여 상향 트래픽을 공유하는 대역폭 보장 풀링(BGP)를 제안하였다. 이 방식은 일반 가입자에게는 최선형의 서비스를 제공하고 SLA를 체결에 따른 프리미엄 가입자에게는 보장된 대역폭을 제공할 수 있다. 이 논문에서 제시한 모델은 네트워크에 있는 ONU를 두 가지 클래스로 분류한다. 한 클래스는 대

역폭 보장형 서비스를 제공하는 ONU들이고 다른 한 클래스는 최선형 서비스는 제공하는 ONU들로 이루어진다. 이런 구조는 하나의 ONU가 다양한 사용자에게 다양한 차등 서비스를 제공할 수 없고 ONU 별로 서비스 클래스가 정해지기 때문에 전형적인 EPON이 아니다. 더구나, 모델의 구조가 일관적이지 않아 IEEE 802.3ah Task Force가 제안하는 EPON의 MPCP의 표준률을 수용할 수 없다. [16]은 EPON 기반 접속망에서 적절한 우선순위 큐잉을 적용하여 차등 서비스를 지원하고 저부하 불이익(light-load penalty) 없는 방식을 제안하였다. 제안된 DBA 1은 기준보다 많은 타임슬롯을 요구하는 ONU는 전체 싸이클 시간 내에서 기준보다 작은 타임슬롯을 요구하는 ONU의 나머지 타임슬롯을 할당받는 방식이다. 이 방식은 기준보다 많은 타임슬롯을 요구한 ONU는 기준보다 작은 타임슬롯을 요구한 ONU의 타임슬롯을 할당 받아서 유리하지만 기준보다 작은 타임슬롯을 요구한 ONU는 자신이 할당받을 수 있는 대역폭을 다른 ONU에게 양보함으로 해서 전체 싸이클 시간이 길어져 큐잉 지연이 증가할 수 있다. 또, QoS를 고려한 DBA2는 고순위 트래픽에 대하여 이전 싸이클에서 추가된 타임슬롯을 미리 추가하여 할당하는 방식이다. 이 방식은 고순위 트래픽에 요구한 대역폭보다 많은 대역폭을 할당함으로 해서 전체적인 싸이클 시간이 증가하기 때문에 다른 ONU의 고순위 트래픽의 지연이 증가하는 결과를 초래하고 비결정적 크기의 타임슬롯의 추가로 인하여 대역폭 보장이 어렵게 된다.

본 논문에서는 고순위(high priority) 트래픽에 대한 대역폭을 위하여 별도의 대역폭을 추가하지 않고 ONU에 할당되는 전체 대역폭에서 고순위, 중순위(medium priority), 저순위(low priority) 트래픽이 대역폭을 조절하는 방식을 통하여 고순위 트래픽의 지연을 최소화하는 방식을 제안한다. 아울러, 제안된 모델을 EPON에 적용하여 설계한 시뮬레이션 모델을 통해 큐잉 지연 및 처리량을 분석하여 성능을 검증한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 EPON의 연구 동향에 대해 설명하고, 3장에서는 효율적인 차등 대역폭 할당 방식을 제안한다. 4장에서는 제안된 방식을 OPNET으로 모델링하여 시뮬레이션을 실시하고, 시뮬레이션 결과를 기반으로 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 내리고 향후 연구 과제를 기술한다.

2. EPON 시스템

본 장에서는 EPON과 ATM PON과의 차이점에 대해서 기술하고, 다음으로 EPON의 동작원리와 데이터 전달 방식의 연구동향을 설명한다. 그림 1에서 보이는 것처럼, OLT와 ONU는 광분배기(Optical Splitter)의

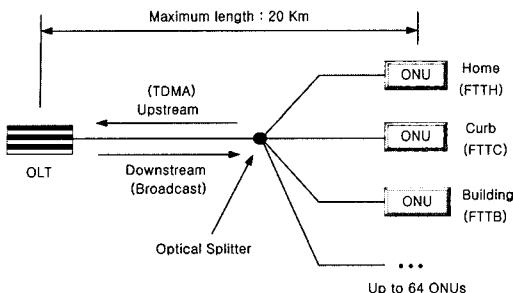


그림 1 EPON의 구성

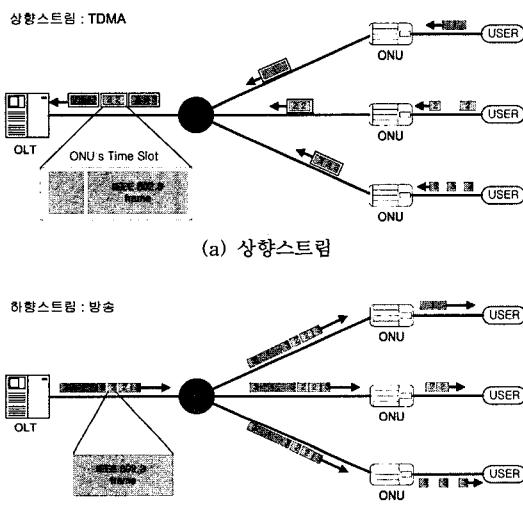


그림 2 EPON의 트래픽 흐름

양단(End Point)에 위치하고 각각은 광섬유로 연결되어 있다.

PON은 광신호의 전달방향에 따라 광분배기에 의해 여러 개의 동일한 광신호로 분배되거나 하나의 신호로 합쳐지게 된다. 광분배기는 별도의 전력공급이 필요 없는 수동 소사이어티 때문에 PON을 구성할 때 설치 및 유지보수 비용이 적게 드는 장점이 있다. 또한, OLT와 ONU들은 점 대 다점 형태로 연결되어 있기 때문에 점 대점 형태보다 광케이블을 설치하는 비용이 저렴하다.

EPON과 ATM PON을 비교했을 때, 가장 두드러진 차이점은 전달되는 데이터의 형태이다. EPON은 최대 1518bytes의 가변 길이 패킷을 전송할 수 있는 프레임 형태의 전송 방식이고 ATM PON은 53bytes의 고정된 셀을 전달하는 방식이다[13]. 또한, 전송 속도 면에서도 EPON은 1Gbps에서 10Gbps로 확장될 수 있는 반면에 ATM PON은 최대 622Mbps로 제한된다.

EPON의 트래픽 흐름은 하향스트림은 점 대 다점으로 방송되고, 상향스트림은 다점 대 점의 형태이므로 매

체를 접근하기 위한 다중 접속 프로토콜이 필요하다. 상향스트림은 그림 2(a)에서 보이는 것처럼 ONU들이 다른 ONU들의 데이터와 전송 충돌을 피하기 위해, 각 ONU에게 주어진 타임슬롯에 가변 길이의 IEEE 802.3 프레임을 전달하는 TDMA 방식을 사용한다. 하향스트림은 그림 2(b)와 같이 OLT는 ONU에게 IEEE 802.3 프레임을 방송하고 ONU는 자신에게 해당되는 프레임만 수용하고 나머지는 파기시킨다.

3. 차등 대역폭 할당 방식

[12]에서는 Fixed, Limited, Constant Credit, Linear Credit을 제안하고 [16]은 고순위의 트래픽이 버스티하지 않다는 가정하에 이전 싸이클의 트래픽에 근거하여 요구 타임슬롯에 예측된 타임슬롯을 추가하여 할당하는 대역폭 할당 방식을 제안하였다. 그러나 요구 타임슬롯에 추가적인 타임슬롯을 할당하는 방식은 추가한 타임슬롯 만큼 한 주기의 싸이클 내에서는 많은 패킷을 보낼 수 있어 지연을 줄일 수 있지만 길어진 싸이클 시간은 다음 싸이클 시간에 영향을 주기 때문에 반복적인 싸이클에 인한 전체 패킷에 대한 큐잉 지연이 증가할 뿐만 아니라 할당받은 추가 타임슬롯을 반드시 사용한다는 보장이 없기 때문에 사용율(utilization)이 낮아질 수 있다.

대역폭 관리와 여러 트래픽 클래스의 공정 스케줄링은 EPON 기반의 차등 서비스(Diffserv)를 제공할 수 있는 새로운 접속망에서 QoS를 보장하는데 중요한 역할을 한다. 우선순위 큐잉은 차등서비스 클래스를 제공하는데 유용하고 상대적으로 단순한 방법이다. Diffserv[32]는 네트워크 트래픽을 클래스로 분류하고 각 클래스를 차등 서비스로 일치시키는 IETF 프레임워크이다.

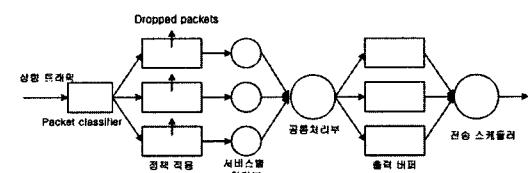


그림 3 ONU 내부동작

그림 3은 ONU가 수행하는 큐 관리 과정을 보여준다. 각 ONU는 동일한 베퍼 공간을 공유하는 3개의 별도의 우선순위 큐를 관리한다. 패킷은 먼저 패킷 분리기(classifier)에 의해서 각 IP의 TOS(Type Of Service) 필드가 체크되어 분리된 다음 해당되는 우선순위 큐에 들어간다. 큐잉 절차는 다음과 같다. 도착한 고순위의 패킷은 베퍼가 완전히 차있으면 저순위의 패킷을 대체

하지만 도착한 저순위의 패킷은 버퍼가 완전히 차있으면 폐기된다. ONU에 고순위의 트래픽 흐름을 정규화하고 SLA를 보장하기 위하여 어떤 형태로든 트래픽 정책이 구현되어 있어야 하며, 그렇지 않으면 저순위 트래픽의 과도한 지연과 패킷 손실의 증가로 인해 결국 자원 고갈에 부딪치게 된다. 따라서 ONU가 전송할 수 있는 트래픽의 양을 제어할 수 있도록 트래픽 정책이 마련되어야 한다. 전송 스케줄러는 큐잉되어 있는 패킷을 전송하는 역할을 한다. 전송 스케줄러는 여러 가지가 있는데 그中最 간단한 형태인 완전 우선순위(strict priority) 스케줄러는 주어진 큐의 헤드부터 스케줄링하면 모든 고순위 큐가 비워지게 되다. 이런 상황은 고순위 트래픽을 제어하지 않아서 저순위 트래픽이 홀대받게 됨으로써 패킷 지연의 무한정 증가, 패킷 손실, 공유 매체의 무제어 접근 등으로 인하여 공평성을 잃게 된다. 그림 4는 하나의 ONU가 전송을 요청하는 간단한 예를 통하여 완전 우선순위 스케줄러의 동작을 보여준다. 시간 t_1 에 ONU는 현재 버퍼 상태에 대한 대역폭을 요구하는 REPORT 메시지를 OLT로 보낸다. 메시지를 받은 OLT는 대역폭 할당 방식을 통하여 ONU에게 타임슬롯을 할당한다. GATE 메시지가 시간 t_1 에 전송을 시작하도록 스케줄링되어 ONU에 도착한다. 대기 시간은 ($t_2 - t_1$)이 되고 더 많은 패킷이 버퍼에 도착하고 전송을 기다린다.

앞에서 설명한 것처럼 완전 우선순위 스케줄링은 t_1 에서 t_2 사이에 도착한 패킷은 고순위 트래픽은 요구한 저순위 트래픽에 우선하여 전송하게 된다. 이는 저순위 트래픽이 다음 싸이클로 연기되는 결과를 초래하여 저순위 트래픽의 대기 지연을 무한정 증가시킬 뿐만 아니라 대역폭 할당 방식에 따라 정해진 할당된 시간 원도우 내에서도 전송할 수 없게 된다. 따라서 이런 불공정한 문제를 해결하기 위하여 [16]에서는 우선순위 기반 스케줄링을 제안하였다. 우선순위 스케줄링에서 t_1 이전에 도착한 패킷에 대해서만 높은 전송 우선순위를 주고 전송의 순서는 라운드Robin 방식으로 그들의 우선순위에 따라 결정한다. t_1 이전에 도착한 패킷이 모두 스케줄링되고 현재의 타임슬롯이 더 많은 트래픽을 수용할 수 있으면 대기 주기($t_2 - t_1$) 동안에 도착한 패킷에 대하여 그들의 우선순위에 따라 추가로 할당한다. 이 방식은 패킷을 스케줄링하는데 있어 공평성을 보장한다. 모든 트래픽 클래스에 대해 OLT에 보고된 대로 우선순위에 맞게 접근할 수 있도록 해준다. 그러나 이 방식은 현재 싸이클에 더 많은 트래픽을 수용할 수 있게 해주는 방식으로 지나간 싸이클에서 이 ONU의 대기 시간에 도착한 패킷의 수량을 참조하여 현재 싸이클에 추가할 타임슬롯의 크기를 결정한다. 따라서 예측된 이 추가 타임슬

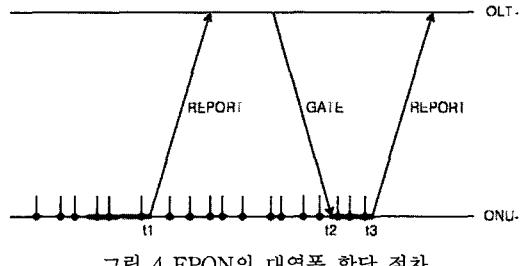
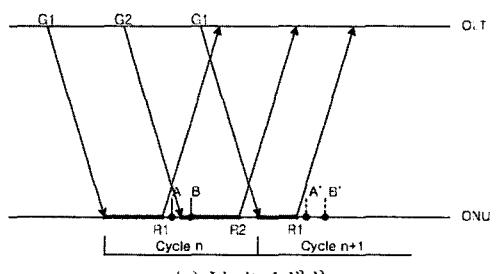


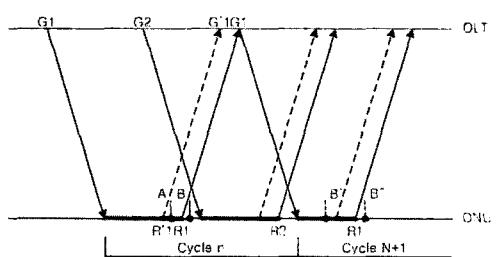
그림 4 EPON의 대역폭 할당 절차

롯 반드시 사용된다고 보장할 수 없을 뿐만 아니라 전체 싸이클 시간에도 영향을 끼쳐서 지연 시간이 증가할 수 있다.

이로 인하여 발생하는 문제점을 그림 5의 (a)Limited 방식과 (b) Credit 방식으로 설명한다. R_i 는 i 번째 ONU의 REPORT 메시지를 나타내고 G_i 는 i 번째 ONU에 대한 GATE 메시지를 나타낸다. Limited 방식에서 A시간에 도착하는 패킷과 B시간에 도착하는 패킷은 동일하게 예약된 싸이클의 다음 싸이클의 해당 타임슬롯 A'와 B'에 전송되지만 Credit 방식에서는 A시간에 도착하는 패킷은 예약된 싸이클의 그 ONU에 할당된 타임슬롯 A에 전송되고 B는 다음 싸이클의 그 ONU에 할당된 타임슬롯 B'에 전송된다. 따라서 Limited 방식에서 A시간에 도착하는 패킷과 B시간에 도착하는 패킷은 함께 싸이클 시간만큼 큐잉 지연이 걸어진다. 하지만 Credit 방식은 싸이클 시간이 Limited 방식보다 크기 때문에 B시간에 도착하는 패킷은 큰 싸



(a) Limited 방식



(b) Credit 방식

그림 5 EPON의 싸이클 시간

이를 시간만큼 큐잉 지연 시간이 더욱 증가하게 된다. 이는 곧 Credit 방식은 Limited 방식보다 최대 큐잉 지연 시간이 그 만큼 더 증가할 수 있으며 평균 큐잉 지연 시간도 개선될 수 없음을 의미한다. 실제로 A시간에 도착하는 패킷보다 B시간에 도착하는 패킷이 훨씬 많기 때문에 전체적인 지연이 증가하는 결과를 초래하게 된다.

앞에서 살펴본 바와 같이 Credit 방식의 DBA2는 모든 순위의 트래픽에 동일한 영향을 초래하게 된다. 적어도 이러한 영향을 고순위 트래픽에게 적용되지 않도록 최대 큐잉 지연 시간이 증가하는 문제를 해결할 수 있는 가중치(Weighted) 대역폭 할당 방식 DBA(Differentiated Bandwidth Allocation)을 고안한다. 즉 H_i^R, M_i^R, L_i^R 가 각각 고순위, 중순위, 그리고 저순위 트래픽에 대한 요구 대역폭이라고 할 때 i 번째 ONU가 OLT에게 요청하는 요구 대역폭 B_i^R 는 다음과 같다.

$$B_i^R = H_i^R + M_i^R + L_i^R$$

또, H_i^G, M_i^G, L_i^G 가 각각 고순위, 중순위, 그리고 저순위 트래픽에 대한 할당 대역폭이라고 할 때 OLT가 i 번째 ONU에게 허락하는 할당 대역폭 B_i^G 는 다음과 같다.

$$B_i^G = H_i^G + M_i^G + L_i^G$$

저순위 트래픽 대역폭 L 을 고순위 트래픽 대역폭 H 로 양보하는 비율을 가중치(weight) w 로 두면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_i^G = (H_i^R + L_i^R(1-w)) + M_i^R + L_i^R w$$

만약에 $w=1$ 이면 $B_i^G=B_i^R$ 이기 때문에 Limited 방식이 되고 $w=0$ 이면 저순위 트래픽인 트래픽은 고순위 트래픽이 완전히 서비스 받은 후에 전송될 수 있기 때문에 완전 우선순위 방식과 같아지게 된다. 가중치 스케줄링 방식은 고순위 트래픽에 대해 최소 지연을 보장하지만 대역폭에 대한 보장은 하지 못한다. 그래서, 고순위 트래픽에 대한 대역폭을 보장할 수 있는 차등 대역폭 보장 할당 DBGA(Differentiated Bandwidth Guarantee Allocation)을 제안한다. SLA는 대역폭, 지연, 지터, 그리고 손실 등의 파라미터를 포함하는데 이 중에서 지연에 대한 연구는 다양하게 이루어졌지만 대역폭에 대한 연구는 거의 없었다. [14]의 BGP에서 제안한 모델은 서비스 대상이 가입자가 아니라 ONU이므로 가입자별로 SLA 기반의 QoS를 제공할 수 없어 실제적으로 활용할 수 없다. 아울러, 모델 구조 자체의 일관성 결여와 IEEE 802.3ah Task Force가 제안하는 EPON의 MPCP의 표준과의 호환되지 않는다는 문제도 안고 있다.

먼저, 대역폭 조절을 위한 가장 중요한 요소인 전송 윈도우 크기에 대하여 알아본다. 만약 OLT가 각 ONU에게 한꺼번에 전체 버퍼 내용을 보내도록 하면 많은

패킷을 가진 ONU가 전체 대역폭을 독식하게 된다. 이런 상황을 피하기 위하여 OLT는 한 사이클 내에서 ONUi의 최대 전송 윈도우 크기를 W_i^{MAX} 로 제한한다. 모든 ONU는 최대 전송 윈도우 크기를 넘지 않는 범위에서 요청한 바이트의 GRANT를 받는다. 제한을 지정하는 방안은 SLA에 따라 고정되기도 하고 네트워크 상황에 따라 가변적이기도 하다.

DBGAs ONU의 일부가 전체 대역폭 B 에 대해 B/N 이상의 대역폭 B_i^{MAX} 의 보장을 요구하는 SLA를 수용할 수 없다. T_{cycle}^{MAX} 은 전체 대역폭에서 최대 사이클이 차지하는 시간이며 다음과 같다.

$$T_{cycle}^{MAX} = \sum_{i=1}^N W_i^{MAX}$$

DBGAs W_i^{MAX} 의 크기에 따라 T_{cycle}^{MAX} 이 결정된다. 또 아무리 다른 ONU의 많은 대역폭 요청이 있더라도 ONUi에 대하여 최소 윈도우 크기 W_i^{MIN} 보다는 큰 윈도우 크기를 할당한다. 단, W_i^{MAX} 의 합은 절대로 전체 대역폭을 넘을 수 없다. 이 방식에 따르면 폭주가 발생할 시에도 모든 ONU에 대하여 최소 W_i^{MIN} 만큼 대역폭을 반드시 보장할 수 있으며 W_i^{MAX} 이상의 대역폭을 할당하지 않으므로 T_{cycle}^{MAX} 보다 최대 지연 시간이 증가하지 않아서 SLA를 만족시키게 된다.

$B_i^G = H_i^G + M_i^G + L_i^G$ 는 각 우선순위에게 할당된 대역폭의 합을 의미하며 B_i^{MIN} 은 i 번째 ONU에게 제공되는 최소 대역폭을 나타낸다. T_d 은 SLA에 의한 허용 지연 시간을 의미한다. 상세한 절차는 아래와 같다.

Procedure ($H_i^R, M_i^R, L_i^R (i=1:N)$)

/* $T_{cycle}^{MAX} < T_d$ 인 $T_{cycle}^{MAX}/2$ 와 B_i^{MAX} 를 결정. */

/* $B_i^{MIN} \leq B_i^G \leq B_i^{MAX}$ 되는 B_i^G 를 결정. */

if ($i=|N/2|$)

for ($i=1; i<|N/2|; i++$)

$$H_i^G = H_i^R + L_i^R(1-w)$$

$$M_i^G = M_i^R$$

$$L_i^G = L_i^R - L_i^R w$$

}

if ($i=N$)

for ($i=|N/2|; i<N; i++$)

$$H_i^G = H_i^R + L_i^R(1-w)$$

$$M_i^G = M_i^R$$

$$L_i^G = L_i^R - L_i^R w$$

}

4. 대역폭 할당 수행 방식

대역폭 할당과 관련된 다른 중요한 사항은 대역폭 할당 수행하는데 걸리는 시간에 관련된 문제로 대역폭 할당을 어느 시점에 수행할 것인가를 결정하는 것이다. 앞장은 대역폭을 할당하는 방식 자체에 대하여 기술하였고 이 장에서는 대역폭 할당에 위한 스케줄링을 어느 시점에 실행하는 것이 대역폭 할당 수행 시간이 성능에 미치는 영향을 최소화하는지를 기술한다. 즉, 앞 장의 절차에서 두 개의 동일한 *for* 문장으로 구성된 이유를 설명한다.

GATE 메시지와 REPORT 메시지가 동작하는 방식은 OLT 타이머에 의해 데이터 전송이 시작되는 폴링 방식과 ONU 타이머에 의하여 데이터 전송을 시작하는 방식의 두 가지로 분류할 수 있다. EPON 시스템의 여러 가지 특징을 고려할 때 전자의 폴링 방식은 ONU가 상향 스트리밍의 트래픽을 스케줄링하는데 적합하고 여러 가지 장점을 갖는다. 먼저, 어려운 다점(multipoint) 구조의 TDM 시스템의 큰 단점인 동기화 문제가 해결된다. 어떤 순간에 필요한 대역폭을 동적으로 ONU에 할당함으로써 경직성(inflexibility)과 비효율성을 제거할 수 있다. 동기화 문제는 TDMA 방식의 MAC 프로토콜에 있어 중요한 이슈가 된다. 후자인 ONU 타이머에 의하여 동작하는 방식은 ONU가 항상 데이터 전송을 시작할 시간을 감시하고 있어야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 ONU의 기능을 단순화하는 폴링 방식에 기반하여 대역폭 할당 수행 절차를 논한다.

그림 6(a)는 단순 대역폭 할당 수행 방식을 나타내며

여기서 OLT는 모든 ONU의 REPORT 메시지를 받은 후에 대역폭 할당 절차를 수행하여 GRANT 테이블을 생성한다. 그러나 이 방식은 대역폭 할당 절차를 수행하고 GRANT 테이블을 생성하기 위한 DBA_TIME이 필요하다. 따라서 채널을 사용하지 않는 IDLE 시간을 낭비하게 된다. IDLE 시간은 DBA_TIME과 RTT의 합과 같다. IDLE 시간을 낭비하지 않는 방법을 그림 6(b)에서 보여주고 있다. 이 방식은 $n-1$ 싸이클의 마지막 ONU에서 REPORT 메시지를 받은 후에 대역폭 할당 절차를 수행하여 GRANT 테이블을 만든다. 만들어진 테이블은 $n+1$ 싸이클에서 GATE 메시지를 발송하는데 사용된다. 이는 과거의 요청 상황이 현재에 반영되므로 현재 ONU 버퍼의 상태에 따른 할당을 하지 못해 지연 시간이 증가하게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 [16]에서 제안한 DBA2 방식은 그림 6(c)에서처럼 작은 대역폭을 요구한 ONU가 IDLE 시간에 먼저 채널을 사용할 수 있게 GRANT를 보내고 그 시간 동안에 대역폭 할당 절차를 수행해서 GRANT 테이블의 나머지를 만든다. 이 방식은 $B_i^R < B_i^{MIN}$ 인 ONU의 수가 많으면 잘 동작한다. 그런 상황에서는 대역폭에 여유가 있기 때문에 DBA 수행 시간이 중요하지 않다. 그런 노드가 많은 상황은 EPON 시스템에 트래픽이 많지 않는 때에 발생한다. 문제는 모든 ONU가 $B_i^R \geq B_i^{MIN}$ 일 때 미리 GRANT를 줄 $B_i^R < B_i^{MIN}$ 인 ONU가 없기 때문에 모든 노드가 GRANT 테이블이 완성될 때를 기다려야 한다. 실제로 대역폭을 효율적으로 사용할 때는 트래픽의 부하율이 높을 때 인데 이럴 때 IDLE 시간을 낭비해야

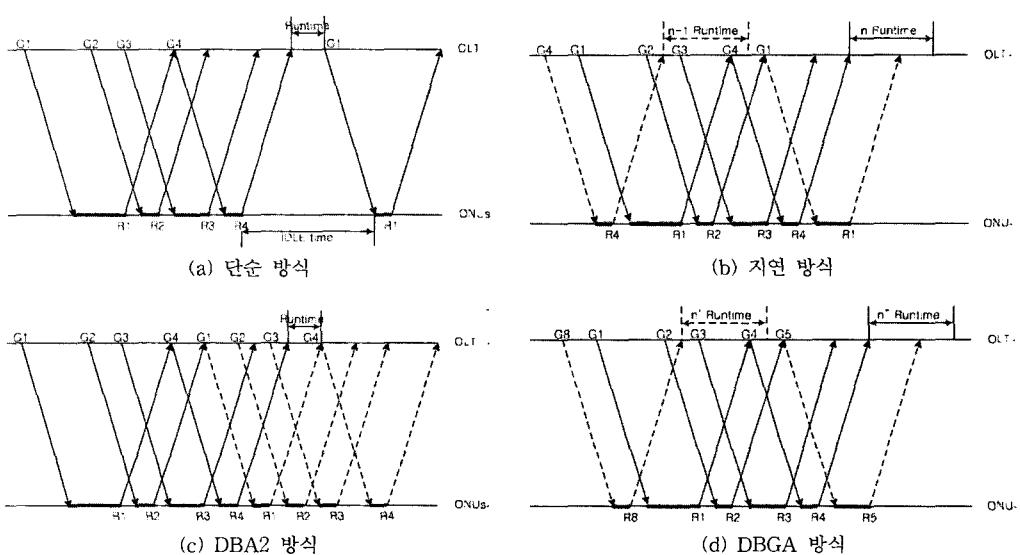


그림 6 대역폭 할당 수행 방식

되는 결과를 초래한다.

본 논문에서는 지연을 최소화하고 모든 ONU의 트래픽이 복잡할 때 잘 동작하는 방식은 제안한다. EPON 시스템에 연결할 수 전체 ONU의 수를 N_{total} 로 표시한다. 활성 ONU의 수가 $N_{total}/2$ 보다 작으면 대역폭은 여유가 있는 것으로 간주한다. 따라서 IDLE 시간이 EPON의 성능에 그다지 큰 영향을 주지 않기 때문에 단순 방식(Simple method)을 사용한다. 그림 6(d)에서 보는 것처럼 그러나 활성 ONU의 수가 $N_{total}/2$ 이상이면 IDLE 시간은 EPON의 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. T_{cycle} 를 절반으로 나누어서 앞의 $N_{total}/2$ 을 먼저 대역폭 할당을 수행하고 나머지 $N_{total}/2$ 은 나중에 대역폭 할당을 수행하여 동일한 싸이클 내에서 교대로 GRANT 테이블을 만들어 ONU를 폴링한다.

5. 시뮬레이션 및 분석

QoS 기반의 EPON에서 제안된 차등 대역폭 할당 방식(DBGA)의 성능 분석은 정확한 EPON 모델과 트래픽 모델을 필요로 한다. 이 장에서는 본 논문에서 제안한 차등 대역폭 할당 방식의 성능을 분석하기 위하여 상용화된 프로토콜 성능 분석 도구인 OPNET을 이용하여 EPON의 OLT와 ONU를 모델링하고 실험에 사용할 트래픽 모델을 기술한다. 또한 EPON 모델의 시뮬레이션을 통하여 패킷의 큐잉 지연 및 처리율 등의 성능을 분석한다.

OPNET으로 구현된 시뮬레이션 모델은 OLT와 16개 ONU의 노드 모델로 구성되고 ONU와 OLT의 거리는 20Km를 유지한다. OPNET의 노드 모델은 FSM(Finite State Machine)로 이루어지고 각 상태(state)의 동작은 C언어로 표현된다. 채널의 속도는 1Gbps이고 최대 싸이클 시간은 2ms로 한다. 정확한 실험을 위해서 현실적인 트래픽 생성이 중요하기 때문에 다음과 같은 트래픽을 생성하였다.

1. EF(Expedited Forwarding) : 고순위 트래픽으로 전형적인 음성 데이터로 크기는 24바이트이고 이더넷 헤더와 UDP/IP 헤더를 붙여서 70bytes의 이더넷 프레임을 형성한다. 프레임간의 최대 지연 시간은 125μs이며 interarrival time은 포아송 분포를 따른다. 프레임 크기를 70바이트로 고정시켰다.
2. AF(Assured Forwarding) : MPEG이나 H.263과 같은 동영상 압축 알고리즘을 사용하는 VOD에서 발생하는 중순위 트래픽 형태이다. 프레임의 크기는 64bytes에서 1518바이트까지 변하며 균등 분포를 따른다. AF와 같은 데이터 중심의 트래픽은 자기 유사도와 LRD라는 성질로 특징 지어진다. 이와 같은 특

성을 고려하여 ON과 OFF를 두어 트래픽이 발생하는 구간과 발생하지 않는 구간을 구별하여 구현해야 된다. ON 상태와 OFF 상태는 각각 파레토 분포를 따르며, ON 상태에서 발생하는 트래픽의 interarrival 시간은 지수 분포를 따른다.

3. BE(Best Effort) : 데이터 중심의 저순위 트래픽으로 가장 많은 비중을 차지한다. http, ftp, 그리고 전자우편 등과 같은 데이터가 이 범주에 속한다. AF트래픽과 같이 자기 유사도와 LRD의 성질을 가지며, 프레임 크기는 64~1518바이트로 파레토 분포를 따른다.

위와 같은 3가지 종류의 데이터 트래픽에 대해서 앞에서 소개한 Fixed 할당방식, Limited 할당 방식, DBA2 할당 방식, 그리고 본 논문에서 제안한 DBGA 할당 방식을 실험하고 결과를 분석한다. 실험은 현재 인터넷 트래픽의 형태를 고려한 모델로 EF 트래픽, AF 트래픽, 그리고 BE 트래픽에 대해 1:1:2의 비율로 생성하였다. 이는 현재 트래픽의 형태가 웹을 위주로 하여 VOD와 같은 실시간 서비스가 전체 트래픽의 70%를 차지하고 있기 때문이다. 구현된 실험 모델에서 Fixed 할당 방식은 완전 우선순위 방식을 적용하였고, Limited 할당 방식, DBA2, 그리고 DBGA 할당 방식에 대해서는 우선순위 기반 스케줄링 방식을 적용하였다.

그림 7(a)와 (b)는 각 할당 방식에 대해 고순위 트래픽의 최대 지연과 평균 지연을 보여준다. 고순위 트래픽은 부하율이 0.7이하에서는 DBGA 할당 방식, Limited 할당 방식, DBA2 할당방식, 그리고 Fixed 할당 방식의 순서대로 큐잉 지연을 보인다. DBA2와 DBGA의 할당 방식의 근본은 Limited 할당 방식이지만 DBA2보다 DBGA 할당 방식이 더 나은 성능을 보이는 이유는 DBA2방식이 Credit을 기본으로 하고 있어 ONU가 현재 큐잉하고 있는 데이터의 량보다 더 많은 양을 요구하기 때문에 전체 싸이클 시간이 길어지는 반면에 DBGA 할당 방식은 요구한 할당량에서 EF에게 선형적으로 데이터를 더 많이 할당하는 방식을 취하기 때문에 전체 싸이클 시간에는 많은 영향을 끼치지 않는다.

그림 8(a)와 (b)는 중순위 트래픽의 최대 지연과 평균 지연을 나타낸다. 4가지 할당 방식 중 어느 것도 중순위 트래픽에 대해서는 특별한 가감을 적용하지 않는다. 따라서 큐잉 지연은 할당 대역폭과 싸이클 시간에 영향을 받게 된다.

그림 9(a)와 (b)는 저순위 트래픽의 최대 지연과 평균 지연을 나타낸다. Fixed 할당 방식을 제외한 할당 방식들은 거의 유사한 큐잉 지연을 나타내는 것을 볼 수 있다. Fixed 할당 방식의 경우, 부하율이 높아짐에 따라 큐잉되는 데이터는 많아지지만 전송할 수 있는 타임슬롯은 일정 기간으로 고정되어 있기 때문에 가장 빨리

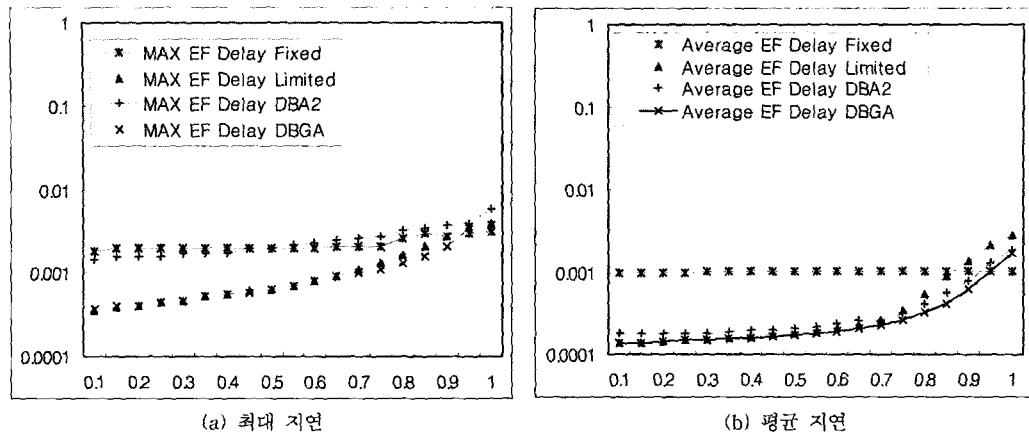


그림 7 고순위 트래픽의 큐잉 지연

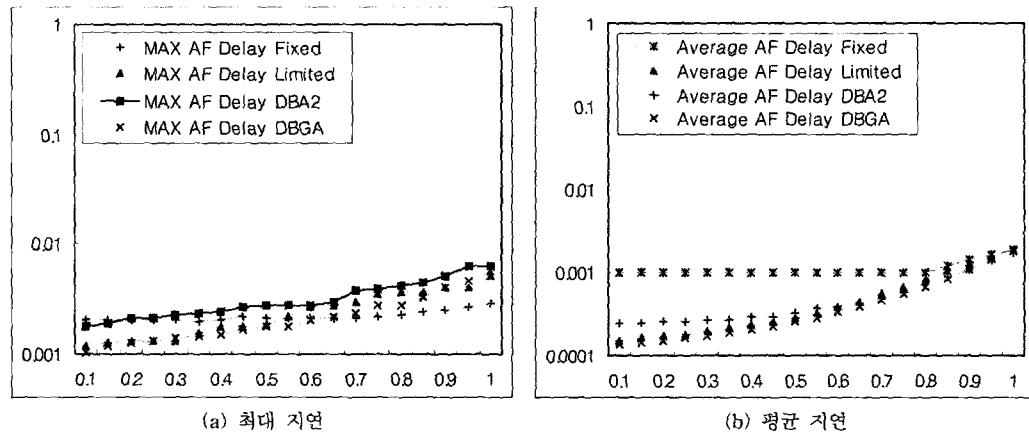


그림 8 중순위 트래픽의 큐잉 지연

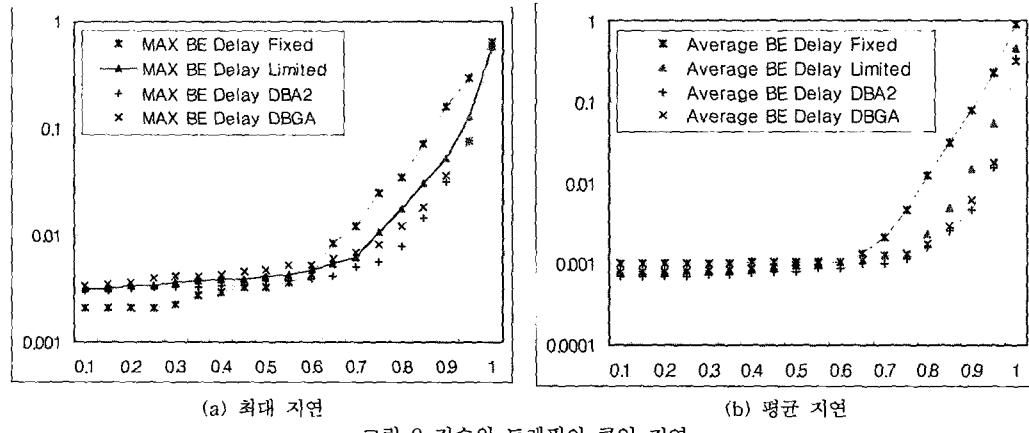


그림 9 저순위 트래픽의 큐잉 지연

큐잉 지연이 늘어나는 현상을 볼 수 있다.

그림 10은 고순위 트래픽, 중순위 트래픽, 그리고 저순위 트래픽의 비율이 1:1:2인 경우에서 DBGA 할당 방

식을 적용하였을 때, 큐잉 지연의 최대값과 평균값을 나타내는 그림이다. DBGA 할당 방식은 4장에서 설명한 것처럼, Credit 할당 방식처럼 예상치를 요구하여 할당

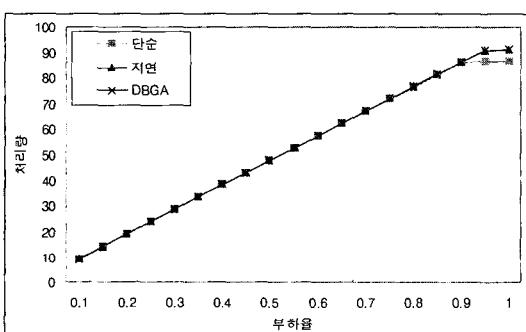
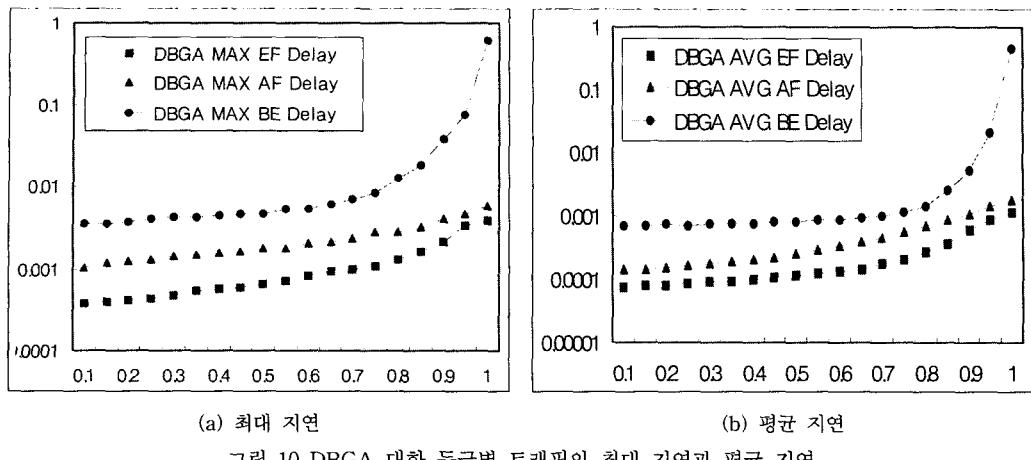


그림 11 대역폭 할당 방식에 따른 처리량

받는 것이 아니라 할당된 대역폭 중에서 저순위의 일부를 고순위에게 내어주는 방식으로 고순위 트래픽의 요구 대역폭에 대해 실제 ONU가 보유하고 있는 대역폭을 고순위 트래픽으로 가중적으로 추가하기 때문에 대역폭의 낭비가 없이 Limited 할당 방식과 같은 싸이클 주기를 유지하면서 고순위 트래픽의 큐잉 지연을 줄일 수 있다. 저순위 트래픽을 제외한 트래픽의 경우 일정한 큐잉 지연을 보여준다. 중순위 트래픽은 부하율이 0.1부터 차이가 생기기 시작해서 0.5일 때를 기준으로 차이가 줄어든다. 추가적인 대역폭을 할당받는 Credit에서는 나타나지 않지만 Limited 할당 방식은 이와 유사한 형태를 나타낼 수 있다. 이와 같은 결과는 대역폭이 높아짐에 따라 싸이클 주기가 줄어들어 모든 트래픽이 지연을 영향을 받지만, 고순위 트래픽의 경우에는 최우선적으로 대역폭을 할당받아 큐잉 지연을 유지할 수 있고, 저순위 트래픽은 고순위 트래픽이나 중순위 트래픽보다 양이 많기 때문에 지연에 덜 민감한 특성을 기인한다.

그림 11은 대역폭 할당 수행 방식에 따른 부하율 대비 처리율을 보여준다. 부하율 0.9 이하에서는 각 대역

폭 할당 수행 방식에 따른 처리량의 차이는 거의 없다. 그러나 부하율이 0.9을 넘어서면 단순 스케줄링의 경우, 대역폭 할당 수행 시간의 절유로 인한 링크의 IDLE상태로 처리율이 다른 두가지의 스케줄링보다 떨어지는 것을 알 수 있다.

6. 결론

가입자 접속망은 처음부터 초고속 IP 데이터를 목적으로 설계되지 않은 장비와 인프라로 인하여 여러 가지 제약을 받는다. 이더넷은 인프라가 동선이든 광선이든 관계없이 단순한 플러그 앤 플레이를 제공하고 IP에 효율적이면서 저렴한 미래의 광대역 프로토콜로 알려지고 있다. 단대단 이더넷은 세계적인 기술 추세이며 ATM이나 HFC에 비하여 훨씬 효율적이고 저렴하다. 특히 관심을 받고 있는 것은 저렴한 점대다점의 광인프라와 높은 대역폭을 저렴하게 제공하는 이더넷을 결합한 EPON이다. 장래의 초고속 접속망은 IP 데이터 뿐만 아니라 음성과 영상을 전달하는데 최적화된 점대점과 점대다점 이더넷으로 통합될 것이다.

본 논문에서는 이더넷 기반의 PON에서 동적 대역폭 할당 문제를 다루었다. 특히, 차등 서비스 기반의 QoS를 지원하는 동적 대역폭 할당 방식을 보여준다. 완전 우선순위 방식을 기반으로 한 대역폭 할당 방식은 특정 트래픽 클래스에 대하여 잘못된 결과를 초래한다. 이를 해결하기 위하여 우선순위 스케줄링을 통한 큐 관리를 제안하였으나 고순위 패킷에 할당되는 타임슬롯에 예측 Credit을 추가하는 방식은 전체 싸이클을 시간을 증가시키는 효과를 가져와 성능을 개선하지 못함을 보여준다. 이를 개선하기 위하여 고순위 패킷을 위한 타임슬롯에 저순위 패킷을 위한 타임슬롯의 일부를 추가하는 가중치

(Weighted) 방식에 대역폭을 보장하기 위한 조건을 추가하여 DBGA 방식을 제안하였다. 또한, 제어 프레임 스케줄링에 있어서 싸이클과 싸이클 사이에 GRANT 테이블을 만들기 위하여 필요한 대역폭 할당 수행 시간과 RTT를 포함하는 IDLE 시간이 대역폭 할당의 성능에 미치는 영향을 최소화하는 방안을 제안하였다. 기존의 제안된 대역폭 할당 방식과 새로 제안하는 대역폭 할당 방식의 성능 분석을 위해 EPON 모델에 대한 큐잉 지연(queueing delay)과 처리율(throughput)을 분석하였다. 제안된 동적 대역폭 할당 방식은 다른 방식과 비교하여 평균 및 최대 패킷 지연뿐만 아니라 처리율에서 훨씬 우수한 성능을 보여준다. 또한, 대역폭 할당 방식의 성능이 타임슬롯의 크기뿐만 아니라 싸이클 시간에 의존적이기 때문에 가드 시간이 허용하는 범위 내에서 싸이클 시간이 작을수록 성능이 우수함을 보여준다. 제안된 방식의 효과를 검증하기 위하여 OPNET 시뮬레이션 도구를 사용하였다.

향후 대역폭이 10Gb/s EPON의 성능에 대한 연구와 WDM PON에서 고정 송수신기의 제어 채널과 동조 송수신기의 데이터 채널을 사용하는 시스템 모델에 적합한 효율적인 대역폭 할당 방식을 연구하고 그 성능을 분석한다.

참 고 문 헌

- [1] A. Cook and J. Stern, "Optical fiber access Perspectives toward the 21st century," IEEE Commun. Mag., pp. 78-86, Feb. 1994.
- [2] Y. Takigawa, S. Aoyagi, and E. Maekawa, "ATM based passive double star system offering B-ISDN, N-ISDN, and POTS," Proc. of GLOBECOM'93, pp. 14-18, Nov. 1993.
- [3] S. S. Kang, H. J. Kim, Y. Y. Chun, and M. S. Lee, "An Experimental Field Trial of PON Based Digital CATV Network," IEICE Trans. Commun., Vol. E79-B, No. 7, pp. 904-908, July 1996.
- [4] M. Miyabe, M. Kasa, K. Tajima, T. Shinomiya, and H. Yamashita, "A Study of Dynamic Bandwidth Allocation for ATM-PON," IEICE Trans. Commun., Vol. E81-B, No. 12, pp. 2364-2370, Dec. 1998.
- [5] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the Broadband Local loop," Lightwave, Vol. 16, No. 10, pp. 68-74, Sep. 1999.
- [6] B. Lung, "PON Architecture Future proof FTTH," Lightwave, Vol. 16, No. 10, pp. 104-107, Sep. 1999.
- [7] G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network(Ethernet PON): Building a next-
- [8] Generation Optical Access Network," IEEE Commun. Mag., pp. 66-73, Feb. 2002.
- [9] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Ethernet PON(Ethernet PON): Design and Analysis of an Optical Access Network," Photo. Net. Commun., Vol. 3, No. 3, pp. 307-319, July 2001.
- [10] 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," OECC, pp. 208-209, July 2002.
- [11] S. W. Yoon, Y. S. Jang, J. H. Eom, and S. H. Kim, "Study of ONU buffer Size for Ethernet PON Using OPNET Simulation Tool," OECC, pp. 210-211, July 2002.
- [12] M. Miyabe, M. Kasa, K. Tajima, T. Shinomiya, and H. Yamashita, "A Study of Dynamic Bandwidth Allocations for ATM-PON," IEICE Trans. Commun., Vol. E81-B, No. 12, pp. 2364-2370, Dec. 1998.
- [13] G. Kramer and B. Mukherjee, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet Passive Optical Network (Ethernet PON)," IEEE Commun. Mag., pp. 74-80, Feb. 2002.
- [14] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband Optical Access Systems Based on PON," Geneva, Oct. 1998.
- [15] M. Ma, Y. Zhu, and T. H. Cheng, "A bandwidth guaranteed polling MAC protocol for Ethernet passive optical networks," in Proc. IEEE INFOCOM, San Francisco, CA, pp. 2231, Mar. Apr. 2003.
- [16] A. K. Jena, A. Popescu, and P. Prothi, "Modeling and Analysis of HTTP Traffic," Proc. 13th ITC Specialist Seminar, 2000.
- [17] Chadi M. Assi, Y. Ye, Sudhir Dixit, Mohamed A. Ali, "Dynamic Bandwidth Allocation for Quality-of-Service Over Ethernet PONs," J. of Sel. Area in Communication Vol. 21 No 9, Nov. 2003.



임종훈

1986년 경북대학교 전자공학과(공학사)
1992년 경북대학교 전자공학과(공학석사). 2004년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사). 1993년~현재 KT 책임연구원
관심분야는 광인터넷, 인터넷 접속망, 메트로이더넷, PON, QoS



정민석

2002년 경성대학교 컴퓨터과학과(공학사)
2004년 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석
사). 2004년~현재 경북대학교 컴퓨터공
학과 박사과정. 관심분야는 Ethernet PON,
ATM PON, Optical networks, 인터넷
QoS



김승호

1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공
학사). 1983년 한국과학기술원 전산학과
졸업(공학석사). 1994년 한국과학기술원
전산학과 졸업(공학박사). 1985년~현재
경북대학교 컴퓨터공학과 교수