

액세스 망에서의 DiffServ 기반 가입자 대역 보장 방법 연구

박 해 숙[†] · 김 해 숙^{**} · 윤 청^{***}

요 약

본 논문은 광가입자 망의 QoS(Quality of Service)에 관한 것으로 액세스 망의 구조를 설명하고, QoS 요구사항에 따른 가입자 및 서비스의 대역을 동시에 보장하기 위한 방안을 제시한다. 먼저, 서비스뿐 만 아니라 가입자 대역을 동시에 보장할 수 있는 방안에 관한 연구로 2계층 분류 방식을 제안한다. 2계층 분류 방식은 서비스를 분류하는 서비스 분류 테이블과 가입자를 분류하는 가입자 분류 테이블의 구성을 통한 두 단계의 분류 방식으로 가입자 대역을 보장할 수 있다. 또한, 플로우의 손실율을 최소화하는 분류 테이블의 엔트리 수를 M/G/k/k의 큐잉모델로 도출한다. 그리고, 가입자들의 공평성을 보장하기 위해 가입자 단위의 가상 큐잉과 스케줄링을 통해 시스템이 목표로 하는 지연범위를 만족시키는 큐의 수를 도출하였다.

키워드 : 품질서비스, 패킷분류, 차별화된 서비스, 네트워크 프로세서

A Study on a Bandwidth Guarantee Method of Subscriber-based DiffServ in Access Networks

HeaSook Park[†] · HaeSook Kim^{**} · Cheong Youn^{***}

ABSTRACT

QoS is an important requirement of the FTTH (Fiber To The Home) subscriber in access network using E-PON (Ethernet Passive Optical Network). In this research, we describe the structure of the access network and propose a bandwidth guarantee scheme for subscriber and service according to the requirements of the subscriber, service and system. This scheme uses two kinds of the classification table, which are called "service classification table" and "subscriber classification table." Using the classification table, we can identify the flow of the subscriber and service. Also, we compute the number of hash table entry to minimize the loss ratio of flows using the M/G/k/k queueing model. Finally, we apply the DRR scheduling through virtual queueing per subscriber instead of the aggregated class.

Key Words : QoS, Classification, DiffServ, Network Processor

1. 서 론

인터넷이 널리 보급됨으로 인해 사용자는 최선(Best-Effort)의 서비스보다는 품질이 보장된 서비스를 요구하게 되고, VoD, 스트리밍 서비스, IP 방송과 같이 QoS 보장을 필요로 하는 서비스가 대두되게 되었다. 회선교환, ATM (Asynchronous Transfer Mode)등의 QoS가 보장되는 방식과는 달리 인터넷은 여러 사용자 및 서비스가 제한된 미디어의 자원을 공유하므로 최선의 서비스를 지향하는 방식으로 발전되어 왔으나, 현재는 최선의 서비스 보다는 비싼 요금을 내더라도 차별화 된 서비스를 요구하고 있다[1].

인터넷의 표준화 기구인 IETF에서는 현재 인터넷 상에서 QoS를 제공하는 방법에 대하여 표준화 작업을 진행하고 있다. IntServ(Integrated Services) 모델, DiffServ(Differentiated Services) 모델 등은 IETF에서 제안된 대표적인 인터넷 QoS 방안이다[2, 3]. IntServ 모델을 지원하기 위해서는 중간 라우터에서 플로우의 연결 상태에 관련된 정보를 저장하여야 하기 때문에 이런 정보를 저장하기 위한 저장 공간을 요구할 뿐만 아니라 라우터의 처리 부하가 커질 수 있다. 인터넷 백본 라우터의 경우 전송 속도가 높고 연결된 플로우의 수가 많음으로 IntServ 모델을 지원하기는 어렵다. IntServ 모델을 지원하기 위하여 라우터가 RSVP, 연결 관리, 패킷의 스케줄링 등의 기능을 지원하여야 하므로 라우터에 대한 요구사항이 많아진다. 그리고, IntServ는 모든 라우터가 IntServ를 지원하는 망에서만 사용할 수 있으므로 확장성에 문제가 있다.

[†] 정 회 원 : 한국전자통신연구원 선임연구원
^{**} 정 회 원 : 한국전자통신연구원 팀장
^{***} 정 회 원 : 충남대학교 컴퓨터학과 교수
 논문접수 : 2005년 3월 30일, 심사완료 : 2005년 7월 11일

IntServ 모델은 확장성 문제 때문에 구현하는 데 문제가 있어 이러한 문제를 해결하기 위하여 DiffServ 모델을 도입하였다. DiffServ 모델에서는 플로우가 서비스 클래스로 분류되며, 라우터에 대하여 플로우 상태 관리 및 시그널링을 요구하지 않는다. DiffServ는 IP 헤더의 TOS (Type of Service)의 6비트를 QoS의 등급을 결정한다. 이러한 방법은 모든 트래픽을 요구하는 QoS 등급에 따라 나누고 이에 따라 트래픽을 집합(agggregation)시켜 스케줄링 문제를 해결하였다. RSVP와는 달리 목적지와 발신측간의 어떠한 QoS 요구사항에 대한 정보교환이 일어나지 않게 함으로써 RSVP가 가지고 있던 연결설정 비용에 대한 문제를 제거하였다.

인터넷은 주로 데이터를 전달하는 매개체였으나, 점차적으로 음성과 비디오 영상을 전달하는 "Triple Play" 서비스의 제공을 필요로 하고 있으며, VoIP, VoD, IP 방송등이 그 대표적인 예이다. FTTH (Fiber To The Home)의 광가입자 인터페이스를 위한 장치로 E-PON(Ethernet Passive Optical Network)이 널리 사용되고 있는데, 본 논문은 E-PON 액세스 망의 QoS 제공 구조에 관한 것이다.

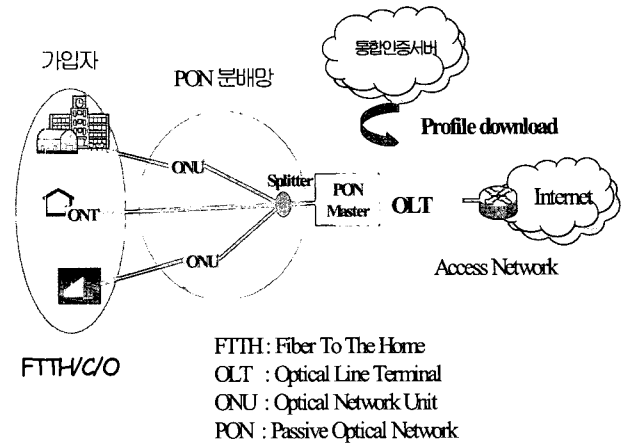
2장에서는 광가입자 망의 구조와 방송 서비스의 특성에 대해서 살펴보고, 3장에서는 E-PON 정합을 수용하는 광가입자 망의 QoS 요구사항에 대하여 기술한다. 4장에서는 가입자 및 서비스 대역 보장 방안에 대해서 설명하고, 5장에서는 가입자 및 서비스 대역 보장 방안의 부하와 장단점에 대하여 비교 분석한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 시스템 구조와 서비스 특성

광가입자 E-PON 액세스 망에 QoS를 적용하기 위해서는 광가입자 망의 구조를 파악해야 한다. 또한 광가입자 망은 가입자와 접속되는 액세스 망이므로 일반 인터넷 서비스뿐만 아니라, IP 방송, VoD, 화상회의와 같은 멀티미디어 서비스를 제공한다. 따라서, 멀티미디어 서비스의 특성에 관하여 파악하고자 한다.

2.1 광가입자 망의 구조

액세스 망은 (그림 1)과 같이 OLT(Optical Line Termination) 및 ONU (Optical Network Units), ONT(Optical Network Termination)로 구성되고 가입자는 ONU 또는 ONT에 접속된다. OLT는 L2 및 L3 기능을 제공하는 액세스 장치로 OSPF, RIP 등의 기본 라우팅 프로토콜 기능을 수행하며, IP 방송 기능을 제공하고, 가입자 인증 기능을 가진다. 또한 부가 기능으로 QoS 및 보안 기능을 가진다. OLT의 라인카드에 E-PON 마스터가 물리적인 인터페이스로 장착되어 광 분배기를 통해 ONU 및 ONT에 PON 브리지가 형성되고 가입자가 연결된다. 통합인증서버는 가입자가 서비스를 요구할 때 인증 및 QoS 프로파일 등의 정보를 OLT에 설정하는 기능을 수행한다.



(그림 1) PON 액세스 망의 구조

2.2 멀티미디어 서비스의 특성

멀티미디어 데이터는 연속적으로 많은 양의 데이터를 전달하는 특성을 가진다. 또한 패킷 음성을 포함하는 경우에는 고품질이 요구되어지며, 온디맨드(On-Demand) 서비스 외에는 주로 멀티캐스트 내지는 방송 서비스가 대부분이다. 따라서 일반 인터넷의 P2P (Peer to Peer)와는 달리, 방송 서비스는 멀티캐스팅 주소를 사용하기 때문에 액세스 망에서 어느 가입자의 트래픽인지 구분하기 어렵다. 따라서, 가입자의 전체 대역을 보장하기 위해서는 멀티미디어 서비스에 대한 대역과 가입자의 일반 인터넷 대역에 대한 분석이 선행되어야 한다.

3. 광가입자 망의 QoS 요구사항

일반적으로 QoS 지표를 나타내는 인자는 대역폭(bandwidth), 지연(delay), 손실(loss), 그리고 지터(jitter)이다. 손실율과 지연 등을 보장하고 계산하는 것은 복잡도가 높기 때문에 우선적인 요구사항으로 대역폭만 언급하고자 한다. 즉, 본 논문에서는 서비스 또는 가입자의 대역을 위한 QoS 프로파일을 설정한다.

방송용 TV 또는 VoD의 경우 SDTV는 2M~6Mbps, 비디오 폰은 384Kbps, 1M, 2Mbps, 그리고 인터넷, P2P를 위한 데이터의 경우는 3~5Mbps 대역폭을 요구한다. FTTH 가입자 요구사항을 정리해 보면, 한 가구 당 최대 3대의 고품질 디스플레이 장치를 보유할 것으로 예측하면, 고선명 화질의 TV (HDTV)에 MPEG-2 (20Mbps)를 적용한 경우 인터넷 데이터 수요까지 포함하여 약 70Mbps 정도를 요구할 것으로 예측된다.

E-PON QoS 서비스 가입자 요구사항은 크게 3가지 방향에서 정리할 수 있다. 첫째, 가입자 하향(downstream) 및 상향(upstream) 요구사항은 최소 대역폭 보장, 서비스별 대역폭 보장, 그리고, 스트리밍 서비스에 대한 품질 보장이다. 둘째, 온디맨드 대역 할당은 가입자 요구가 있을 때 특정 지점간에 대역할당 개념으로 대역 할당 및 서비스 수락을 위한 CAC (Connection Admission Control)가 필요하다. 셋째, 방송서비

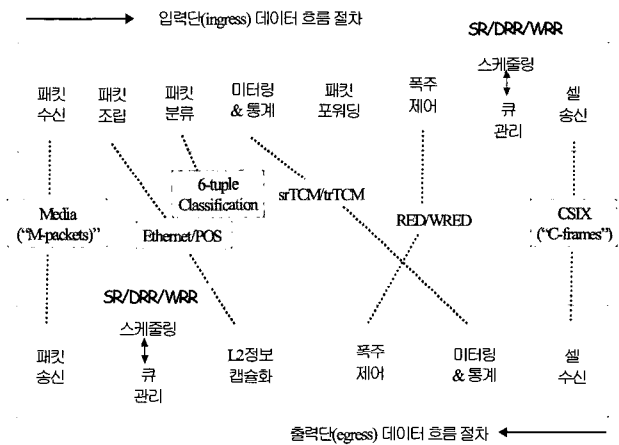
스 트래픽은 조인(Join)시에 최대 채널 수에 대한 CAC가 필요하고, 방송 채널을 구분하기 위한 5-tuple 분류가 필요하다. 또한 DSCP 마킹(marking), DSCP 기반 우선순위 큐잉(queuing), 가입자별 셰이핑(shaping), 폴리싱(policing)이 요구된다. PON 가입자는 L2(Layer 2) 구간이므로 DSCP를 802.1p로의 매핑(mapping)이 요구된다.

4. 가입자 및 서비스 대역 보장 방안

4장에서는 광가입자 망의 기본적인 QoS 제공 구조를 살펴보고, 가입자 및 서비스 대역을 보장하기 위한 방안을 기술한다.

4.1 IP-DiffServ 기반의 품질 서비스 제공 구조

3장의 광가입자 망의 QoS 요구사항을 만족시키기 위하여 (그림 2)의 데이터 처리 흐름을 가지는 IP-DiffServ 기반의 Triple Play 품질 서비스 제공 구조를 설계하였다. 제어 플레인에서의 복잡한 시그널링 없이 데이터 플레인에서의 네트워크 프로세서를 이용한 고속의 데이터 처리를 통한 QoS 제공 방법이다. 서비스 또는 트래픽 타입에 따라 동일한 QoS 특성을 요구하므로 DiffServ 기반의 품질 서비스를 근간으로 하고 있다[4].



(그림 2) IP DiffServ 기반의 데이터 처리 흐름도

입력단 네트워크 프로세서의 데이터 처리 과정은 다음과 같다. 미디어 장치로부터 패킷이 입력되면 데이터 프레임으로 조립을 하여 QoS 정보를 획득하기 위해 6-tuple을 분류를 한다. 패킷의 플로우에 따라서 패킷 전송률과 데이터의 크기에 따라 패킷의 컬러를 green, yellow, red로 표시한다. 또한 수신한 패킷에 대한 통계 정보를 수집하고 착신측 주소에 따라서 패킷 포워딩 정보를 록-업한다. 또한, 패킷의 폭주를 방지하기 위하여 패킷을 미리 폐기하는 RED(Random Early Discard)/WRED (Weighted RED)를 수행 한 후 큐 스케줄링에 의해 해당 스위치의 출력 port로 패킷을 전달한다. 스위치 인터페이스가 CSIX이므로 고정된 크기의 셀 단위의 "C-frame" 포맷으로 전달되어진다.

출력단 네트워크 프로세서의 데이터 처리 과정은 다음과 같

다. 스위치로부터 수신된 패킷은 미터링 과정과 통계정보를 수집한 후 폭주 제어 과정을 수행한다. 폐기되지 않은 패킷은 L2 헤드 정보를 갱신 및 부가하여 미디어 장치로 전달한다.

스케줄링은 포트간에는 WRR (Weighted Round Robin), 큐들간에는 DRR (Deficit Round Robin) 알고리즘을 적용한다. 통계정보는 플로우 단위로 송수신한 패킷의 수와 바이트의 수를 계산하고, 포트 및 인터페이스 단위로 전송한 패킷의 수, 바이트의 수, 그리고, 패킷 도착 간격 시간을 수집한다.

4.2 이중 분류 테이블과 계층적 분류 방법

방송 채널은 멀티캐스트 주소를 사용하기 때문에 OLT의 출력단 NP(Network Processor)에서 여러 출력 포트로 패킷을 복사하여 PON 구간으로 전달한다. 따라서, OLT에서 가입자의 주소를 구분할 수 없기 때문에 방송 채널에 대한 대역을 할당할 수는 있지만 어느 가입자에게 이 방송채널의 대역이 할당되는지의 정보를 알 수가 없다.

OLT 시스템에서 방송 서비스의 대역 보장뿐만 아니라 가입자의 대역을 보장하기 위해서는 2가지의 기술적인 문제가 해결되어야 한다. 첫번째는 가입자와 서비스의 대역을 QoS 프로파일로 관리 및 설정하는 QoS 제어 서버가 동적으로 대역을 할당해야 한다. 둘째, OLT 라인카드의 네트워크 프로세서가 가입자와 서비스를 구분할 수 있는 분류(classification) 테이블을 이용한 대역 보장의 패킷 전달 기능을 제공해야 한다.

본 논문에서는 가입자에게 설정되는 최대 대역폭에 대한 QoS 프로파일을 설정하고, 가입자에게 방송 채널을 설정할 때 그 방송 채널의 대역폭을 가입자의 대역폭에서 경감하는 방식의 동적인 대역폭을 할당 하고자 한다. 이러한 동적인 대역폭 할당을 통해 방송 서비스와 가입자의 대역폭을 보장할 수 있으며, QoS 서비스 품질을 제공할 수 있다.

6-tuple 분류 테이블은 QoS 제어 메커니즘을 수행하는 플로우를 구별하기 위한 6개의 인자들을 구성한 해쉬(hash) 테이블이다. 6-tuple은 착신측 주소(dst IP), 송신측 주소(src IP), 프로토콜 타입(PT), 차별 서비스 코드 값(DSCP), 송신측 udp/tcp 포트 번호(src port), 수신측 udp/tcp 포트 번호(dst port)이다. 6-tuple의 값 조합에 따른 QoS 프로파일 정보는 패킷의 메타데이터(metadata) 자료구조의 flow_id, color_id, class_id라는 3개의 필드로 구별된다. 메타데이터는 마이크로 엔진에서 패킷을 기술하는 데이터로 네트워크 프로세서의 입력단에서 출력단으로 전달되는 정보이다. 이러한 3개의 필드 정보는 QoS 제어 블록에서 서비스의 종류에 따라 해당되는 미터링(metering) 정보를 설정한다. 예를 들면, 방송 채널 서비스의 대역은 5Mbps 또는 20Mbps이다. 가입자 대역 할당 QoS 테이블은 가입자 주소를 키로 구성되며, 가입자의 전체 대역에서 가입자에게 할당된 서비스를 경감시킨 나머지 대역을 새로운 flow_id의 값으로 관리한다.

(그림 3)의 예에서는 가입자 1에게 100Mbps의 대역을 할당하였는데, 가입자 1에게 20Mbps 방송 채널을 2개 할당하였기 때문에 현재, 60Mbps의 대역이 남아있다. 따라서 가입자

1이 일반 인터넷 서비스를 사용하는 경우 최대 60Mbps까지의 대역을 보장한다.

(그림 3)의 테이블과 정보를 관리 및 제어하기 위해서는 QoS 제어 블록에서는 QoS 프로파일을 동적으로 설정해야 한다. 가입자가 인증되어 서비스를 개시할 때 가입자에 대한 QoS 프로파일 설정으로 대역 할당을 해야 하고, 그 가입자가 방송 서비스를 요구할 때 방송 채널에 대한 QoS 프로파일을 설정하여 방송이 끊김 없이 서비스 되도록 한다. 그 방송 채널의 QoS 프로파일을 한 개의 플로우로 등록해야 하며, 그 플로우를 등록할 때 가입자의 대역도 동적으로 변경해야 한다. 따라서, 가입자의 대역을 가입자가 사용하는 서비스의 대역에 따라서 동적으로 대역을 재할당해야 하는 문제가 있으나, 가입자가 가입한 대역폭을 가입자가 보장 받도록 한다.

1. 서비스 분류 테이블

dst IP	src IP	PT	DSCP	dst port	src port	QoS profile		
채널 1	그룹 1 주소	udp	4	###	###	flow_id	color_id	class_id
채널 2	그룹 2 주소	udp	4	###	###			

미터링 테이블 key: flow_id

rate	size
CIR, PIR	CBS, EBS

WRED 알고리즘 테이블 key: color_id

service rate	weight	threshold
100	5	255

버퍼 관리: class_id, (out_port_id)
스케줄링 알고리즘: WRR, DRP

2. 가입자 분류 테이블

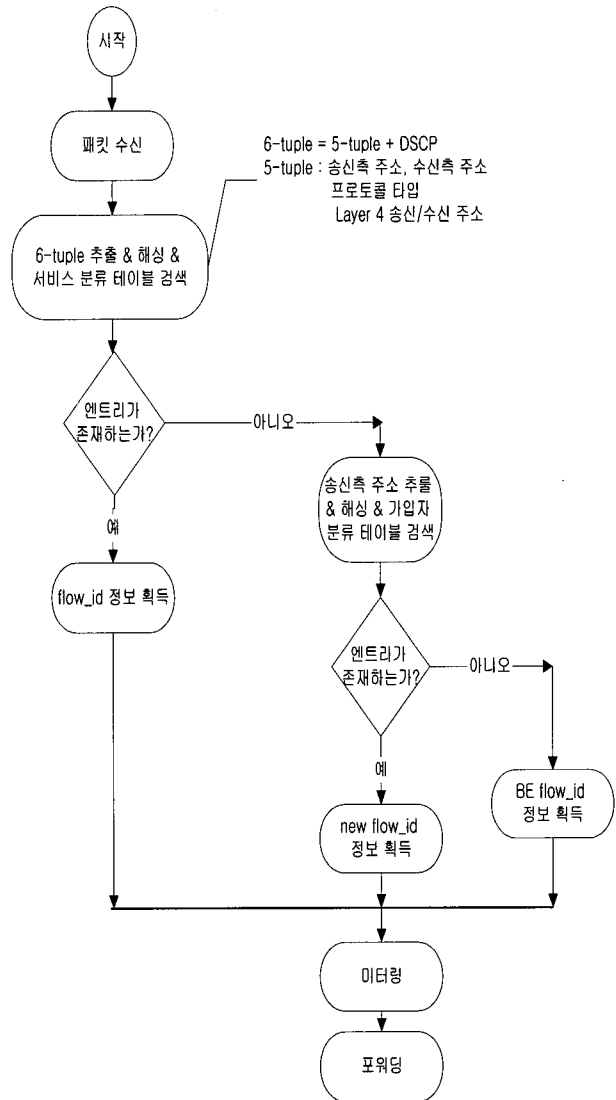
src IP	new flow_id	color_id	class_id
Subscriber 1		0(green)	1

100M - 20M - 20M
Bandwidth(60Mbps)

(그림 3) 서비스 및 가입자 분류테이블 구조

(그림 4)는 입력단(ingress) 마이크로 엔진에서 수신된 패킷을 처리하는 과정이다. 패킷이 수신되면 IP 헤더에서 6-tuple을 추출하여 6-tuple 서비스 분류 테이블을 해싱(hashing)하는 키로 사용한다. 해싱하여 엔트리가 존재하면(hit), 가입자의 등록된 서비스이므로 그 해싱 결과의 flow_id, color_id, class_id의 3개 값을 이용하여, metering, 포워딩, WRED 등을 적용하고, 큐잉과 스케줄링을 통해 패킷을 전달한다. 해싱 결과 엔트리가 존재하지 않으면(miss), 일반 인터넷 서비스이기 때문에 가입자 분류 테이블에서 가입자의 IP 주소로 해싱을 하여 엔트리가 존재하면 차별화 서비스로 등록된 가입자이므로 새로운 flow_id에 따른 metering과 포워딩, WRED를 적용하여 큐잉과 스케줄링을 통해 패킷을 전달한다. 만일, 가입자 분류 테이블에 엔트리가 존재하지 않으면, 최선의 서비스(BE: best effort)이므로 디폴트(default) flow_id에 따라서 metering, 포워딩, WRED를 적용하여, 큐잉과 스케줄링을 통해 패킷을 전달한다.

본 논문은 가입자가 프리미엄 서비스를 가입하고 대역폭을 보장 받고자 할 경우, 가입자의 방송 서비스에 대한 채널 대역과 가입자의 일반 인터넷 서비스를 동적으로 관리하여 가입자 등록시에 계약한 최대 대역폭을 보장할 수 있는 방법이다. 방송 서비스와 가입자의 일반 인터넷 서비스를 위한 분류 테이블을 이중으로 관리해야 하는 부하가 있지만, 사용자의 대역폭 보장을 통한 서비스 품질을 보장할 수 있다.



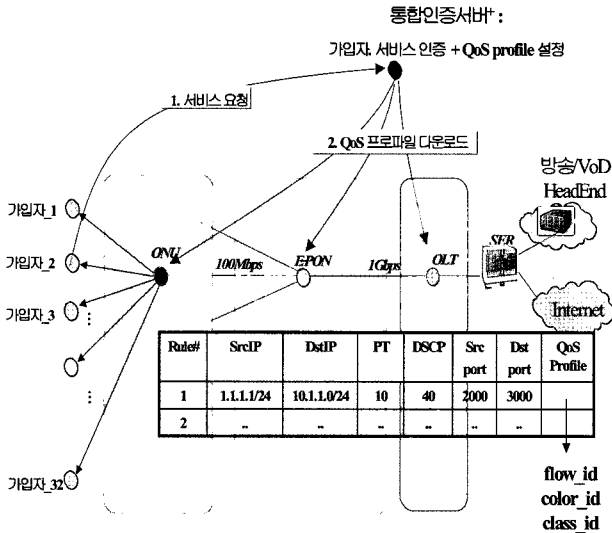
(그림 4) 패킷 분류 절차도

4.3 QoS 프로파일 설정 시나리오

정적인 QoS 프로파일 설정만으로는 방송 채널에 대한 대역 보장 방법 외에 가입자에게 할당하는 전체 대역을 보장할 수 있는 방법이 없다. 따라서 본 논문에서는 가입자별 대역폭을 설정하고, 가입자가 방송 채널을 시청 할 경우에 가입자별 대역폭에서 방송 채널 대역을 차감하는 방식으로 가입자의 대역을 동적으로 재설정 한다. 이러한 동적인 가입자 대역 보장 방법은 OLT에서 가입자 및 채널의 대역을 동적으로 설정해

야 하는 복잡도를 가지지만, 가입자의 대역을 보장해 줄 수 있는 장점을 가진다.

(그림 5)는 ONU에 연결된 가입자가 통합인증서버로 서비스 요청을 하면 인증서버가 QoS 프로파일을 OLT, E-PON, ONU에 설정하는 절차의 예를 나타내고 있다. 서비스는 VoD 이고, 6-tuple에 대한 QoS 프로파일 정보는 flow_id, color_id, class_id로 마킹, 미터링, 스케줄링, 버퍼 관리에 대한 설정 정보이다.



(그림 5) QoS 프로파일 설정 시나리오

4.4 가입자 단위의 큐잉 및 스케줄링

가입자들의 공평성을 유지하기 위해 가입자마다 가상 큐를 할당하여 RR(Round Robin) 방식으로 스케줄링을 할 수 있다. 또한 프리미엄 가입자의 서비스를 위해서는 가중치를 설정하여 WRR 또는 DRR 방식을 적용할 수 있다. 본 논문에서는 DRR 알고리즘을 사용하여 지연한계를 만족하는 가상 큐 및 가입자의 수를 도출하였다.

가중치 $\phi_i (1 \leq i \leq n)$ 를 가지는 n 개의 큐의 DRR 알고리즘의 큐 i 의 지연 θ_i 는 (식 1)로 정의된다[6]. \bar{P}_i 는 플로우 i 의 최대 패킷 크기이며, $F = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i$ 이다.

$$\theta_i = \frac{1}{r} \left[(F - \phi_i) \left(1 + \frac{\bar{P}_i}{\phi_i} \right) + \sum_{j=1}^n \bar{P}_j \right] \quad (식 1)$$

(식 1)에서 모든 가중치 $\phi_i (1 \leq i \leq n)$ 가 일정 하다고 가정하면, CBR 실시간 트래픽은 큐 i 에서 지연 한계 δ 에 대해 $\theta_i < \delta$ 조건을 만족하는 허용 가능한 큐의 최대 수를 계산할 수 있다. 가상 큐를 가입자 단위로 할당했기 때문에 결국 시스템에서 수용 가능한 최대 가입자 수를 구하는 문제로 귀결된다.

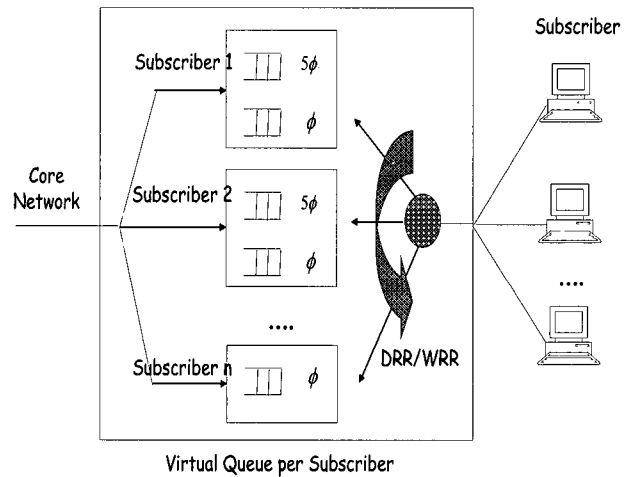
(그림 6)은 가입자에게 가상 큐를 할당한 DRR 알고리즘을 나타내고 있다. 가입자 n 은 BE 서비스이고, 가입자 1과 2는 일반 BE의 인터넷 서비스와 premium 서비스 둘 다를 가지

고 있다. 코어 망으로부터 수신된 패킷은 가입자 단위로 가상 큐에 큐잉되고, DRR 알고리즘을 통해 가입자에게 전달된다. 계산의 편의성을 위해, BE 서비스는 가중치를 ϕ , 프리미엄 서비스는 가중치를 5ϕ 로 설정하였다.

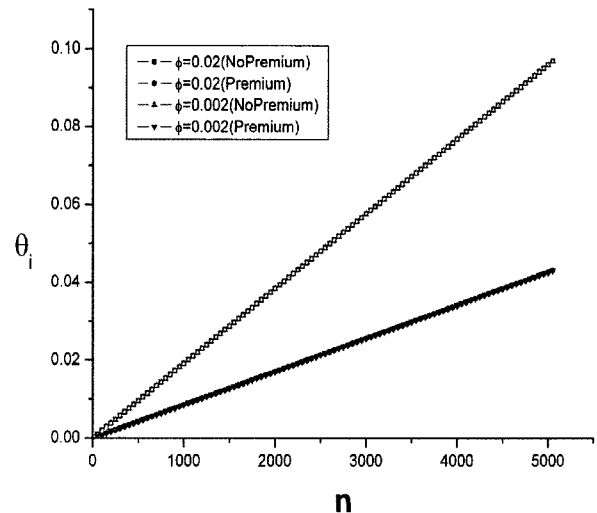
지연한계를 만족하는 n 을 구하기 위해 다음 사항을 가정하였다.

- [가정 1] $\phi_i = \phi, (1 \leq i \leq n)$
- [가정 2] 프리미엄 가입자는 전체 가입자의 20%이다
- [가정 3] $P_i = mtu\ size$ 로 64K바이트
- [가정 4] 성능 $r=10Gbps$ (NP의 성능)

위의 가정하에서의 계산 결과를 지연 θ_i 와 n 의 관계 그래프로 나타내면 (그림 7)과 같다. 여기서 가중치 ϕ 에는 무관하게 프리미엄 서비스와 BE 서비스의 차이가 있음을 알 수 있다. 예를 들어 시스템의 지연한계 δ 의 범위가 20ms ~ 50ms 라면, 이 한계치를 만족하는 가입자 수는 1000~2700 범위임을 알 수 있다. 이 결과는 최악의 경우를 고려한 것으로 실제적인 시스템의 망 설계와는 차이가 있을 수 있다.



(그림 6) 가입자 단위의 큐잉 및 스케줄링의 예



(그림 7) 지연에 따른 최대 가입자 수

5. 분석

5.1 분류 방식 비교

<표 1>은 일반적인 패킷의 플로우를 분류하는 단순 분류 방식과 본 논문에서의 서비스 분류 테이블과 가입자 분류 테이블의 2계층 분류 방식의 장단점을 비교하였다.

분류키는 단순분류는 일반적으로 5-tuple을 이용한 플로우 구분이지만, 논문의 방식은 서비스는 6-tuple로 플로우 및 서비스 등급을 구분하지만 가입자는 송신측 주소를 이용하여 분류 한 뒤 가입자 대역을 관리한다. 따라서, 단순분류 방식은 가입자 대역 보장이 가능하지 않지만, 2계층 분류 방식은 가입자 대역 보장이 가능하다. 또한 필요한 메모리 양은 분류 테이블에 등록되는 엔트리의 수에 의해 결정되는데, 단순 분류는 5-tuple을 이용한 플로우고, 2계층 분류는 가입자의 수와 서비스의 종류 수에 의해 결정된다. 그러나, 2계층 분류 및 동적 대역 할당 방법에서도 대역의 효율적인 사용 측면에서 가입자 등록시에 대역을 할당하는 것은 문제가 있다. 따라서, 그 대역을 실제로 사용할 경우에 할당하는 방식을 구현하기 위해서는 데이터의 플로우를 감지하여 새로운 플로우에 대한 대역을 할당하는 방식의 연구가 필요하다.

<표 1> 2계층 분류 방식의 비교표

비교항목	단순 분류	2계층 분류
분류 key	5-tuple	서비스: 6-tuple 가입자: 송신측 주소
검색 횟수	1	멀티미디어 서비스: 1 P2P: 2
대역보장	플로우 단위는 가능하나, 가입자 대역 보장 안됨	서비스 및 가입자 대역 동시 보장 가능
메모리 필요량	플로우 수에 의해 결정	서비스 및 가입자 수에 의해 결정
대역 설정 메커니즘	정적	동적(서비스에 따른 가입자 대역의 동적 할당)

5.2 분류 테이블의 해시 엔트리 수 도출

플로우 분류 테이블의 엔트리 수를 M/G/k/k 큐잉 모델로 표현할 수 있다. 도착률 λ 의 포와송 분포와 k개의 엔트리를 가지는 큐잉 모델에서 플로우의 평균지속 시간은 B(x)에 확률밀도함수 b(x)를 가진다. 해시 테이블에 존재하는 플로우의 수는 (식 2)의 확률을 가진다[8].

$$P\{n \text{ customers in the system}\}$$

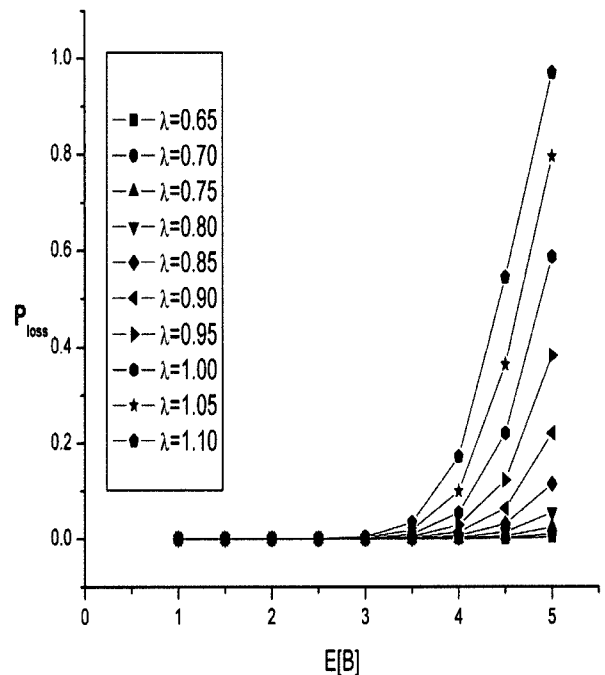
$$= \frac{(\lambda E[B])^n}{\sum_{i=0}^k \frac{(\lambda E[B])^i}{i!}}, 0 \leq n \leq k \tag{식 2}$$

(식 2)에서 해시 테이블의 엔트리 수는 k이므로 P(k)가 손실 확률 P_{loss} 가 된다.

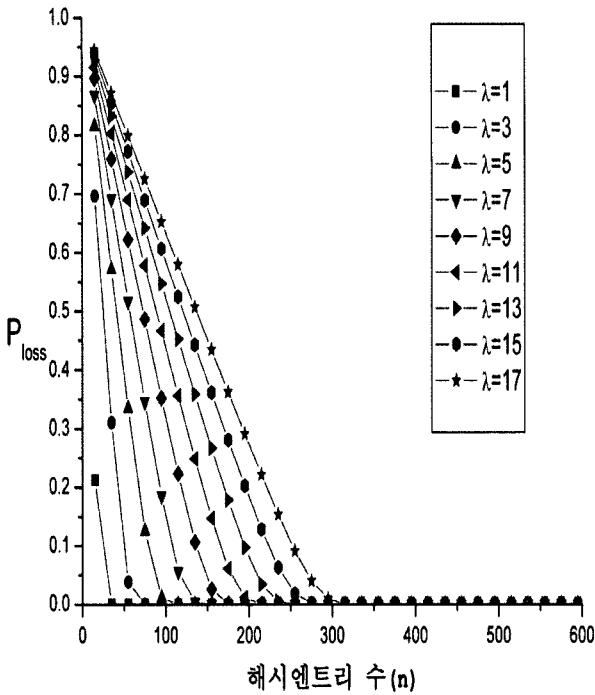
$$P_{loss} = \frac{(\lambda E[B])^k}{k!} / \sum_{i=0}^k \frac{(\lambda E[B])^i}{i!} \tag{식 3}$$

(그림 8)은 플로우의 평균 지속 시간에 따른 손실율을 나타내고 있다. 도착률 λ 에 따라서 정도의 차이는 있지만 3 이상인 경우에 손실율이 급격하게 증가되기 때문에 시스템 설계에 고려되어야 한다. 분류 테이블은 플로우가 시스템에 존재하는 시간동안 유지가 되어야 하므로 일반적인 큐잉모델과는 달리 망에 머무르는 시간이 길다. 해당 플로우의 데이터가 전송되지 않고 일정시간이 지나야 분류 테이블에서 삭제될 수 있다. 물론 해당 시스템의 플로우 수가 적고 분류 테이블의 엔트리 수가 크면 플로우의 데이터 전송이 없어도 분류 테이블에 정적으로 유지할 수도 있다.

(그림 9)는 E[B]=16인 경우에 해시 엔트리 수 n에 따른 손실율을 보여주고 있는데, 엔트리 수가 300이상이어야 손실율이 낮음을 알 수 있다.



(그림 8) E[B]에 따른 손실율



(그림 9) 해시 엔트리 수에 따른 손실율

6. 결론 및 발전 방향

본 논문에서는, 첫째, 서비스를 프리미엄 가입자를 잘 구분하기 위한 방법으로 서비스와 가입자 분류 테이블을 이중으로 구성하고, 계층적 분류 알고리즘을 적용하는 것이다. 이를 통해 멀티미디어 서비스와 일반 인터넷 서비스를 구분할 수 있으며, 정적인 대역을 사용하는 서비스와 동적인 대역을 사용하는 가입자 프로파일을 관리 할 수 있다.

둘째, 분류를 위한 해시 테이블의 엔트리를 구하는 모델을 연구함으로써, 새로운 플로우의 도착율 및 플로우의 지속시간에 따른 플로우의 손실율을 파악하였다. OLT의 10Gbps 라인 성능을 보장하는 라인카드에 640 가입자가 연결된 경우에 플로우의 도착율이 3이고, 플로우가 망에 머무르는 시간을 3분으로 가정한 경우에 플로우의 손실율은 3×10^{-6} 정도였다. 이 결과를 이용하여 라인카드 설계 시에 메모리 사용량 및 해시 알고리즘 선정 자료로 사용할 수 있으며, 개발된 시스템의 성능 및 한계 지표 자료로 활용 가능하다.

셋째, 가입자 공평성을 유지하기 위하여, 가입자 단위로 가상 큐를 할당하는 방식을 제안하였다. 프리미엄 가입자 또는 프리미엄 서비스를 일반 가입자 및 서비스와 구분하기 위해 가중치를 다르게 설정한 DRR 알고리즘을 적용하였다. 이 때, 시스템이 목표로 하는 지연 한계를 만족하는 큐의 수를 계산함으로써 시스템에서 수용 가능한 가입자의 수를 구할 수 있었다. 관련 논문들의 결과 수식을 이용하여 큐의 수 및 가입자의 수를 계산하였으며, 이를 DiffServ 망을 통해 시뮬레이션 함으로써, 수식으로 계산한 지연 값과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 분석 결과, 한 네트워크 노드에서 최대 전송

패킷이 1,500바이트인 경우에 지연이 50ms 미만을 만족하는 최대 가상 큐의 수는 5,000개 정도임을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] H. Park, S. Yang, and C. Youn, "The implementation of the Cos/QoS using network Processor in the OLT System," OECC/COIN 2004, pp.174-175, June, 2004.

[2] S. Shenker, R. Braden, and D. Clark, Integrated services in the Internet architecture: an Overview, Internet RFC 1633, June, 1994.

[3] S. Black et al., An Architecture for Differentiated Services, IETF RFC 2475, Dec., 1998.

[4] 박혜숙, 양선희, 윤청, "Ethernet-PON 액세스 망의 IP DiffServ 기반 QoS 구조 설계," 제 22회 한국정보처리학회 추계학술대회 논문집, 제11권, 2호, pp.1671-1674, Nov., 2004.

[5] H. Park, H. Kim, and C. Youn, "Hierarchical Classification of Bandwidth Guarantee in Optical Subscriber Network," OECC2005, 2005.

[6] L. Lenzini, E. Mingozzi, and G. Stea, "Tradeoffs Between Low Complexity, Low Latency and Fairness With Deficit Round-Robin Schedulers," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.2, No.4, pp.68-80, Aug., 2004.

[7] D. Stiliadis, "Traffic Scheduling in Packet-Switched Networks : Analysis, Design, and Implementation," Ph. D. dissertation, Univ. of California Santa Cruz, June, 1996.

[8] D. Gross and C. Harris, 'Fundamentals of Queueing Theory', Third Edition, Wiley, 1998.



박 혜 숙

e-mail : parkhs@etri.re.kr
 1992년 경성대학교 전산통계학과(학사)
 1994년 부산대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
 2005년 충남대학교 대학원 컴퓨터학과 (이학박사)

1994년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: QoS, 내장형 소프트웨어, 프로세서 및 네트워크 프로세서 제어



김 해 속

e-mail : hskim@etri.re.kr
1980년 고려대학교 수학과(학사)
1990년 고려대학교 대학원 수학과(이학석사)
1979년 12월~현재 한국전자통신연구원 시
스템S/W플랫폼팀 팀장
관심분야: 소프트웨어 공학, 네트워크 보안



윤 청

e-mail : cyoun@cs.cnu.ac.kr
1979년 서울대학교 물리학과(학사)
1983년 일리노이 주립대학교 Computer Sci-
ence(석사)
1988년 Northwestern 대학교 Computer Sci-
ence(박사)
1983년~1985년 웨인 주립대학교 전임강사
1985년~1987년 Northwestern 대학교 전임강사
1988년~1993년 Bell Communications Research 선임연구원(MTS)
1993년~현재 충남대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야: 소프트웨어 공학, 소프트웨어 형상관리, 객체지향 모
델링