

논문 2011-48TC-11-11

패킷 전송망에서의 플로우 기반 QoS 관리 방안 연구

(A Study of Flow-based QoS Management in Packet Transport Network)

최 창 호*, 김 환 우**

(Chang-ho CHOI and Whan-woo KIM)

요 약

무선 인터넷 사용자의 증가, IPTV 확산, 개인 멀티미디어 플랫폼의 다양화 등으로 IP 기반의 패킷 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 TDM 기술을 사용하는 회선 기반의 전송방식에서 이더넷 기반의 패킷 전송방식으로 기술이 진화하고 있다. 본 논문에서는 PBB-TE 기술 및 MPLS-TP 기술을 적용한 패킷 전송망에 대해 소개하고, 패킷 전송망에서 사용자의 다양한 요구조건에 만족하는 서비스 품질 관리 방안을 제시한다. 제안된 플로우 기반의 QoS 관리 방안에서는 입력 프레임별 플로우 별로 구분하여 PTL 터널에 매핑하고 각 플로우 및 PTL 터널 별 대역관리를 수행함으로써 대역충돌 상황에서도 설정된 서비스 품질을 완벽히 보장해 줄 수 있다. 제안된 방안의 성능분석을 위해 각 입력 프레임 별 플로우 및 PTL 터널을 정의하고 각 플로우 및 PTL 터널 별 QoS 파라미터를 설정하였으며 OPNET modeler를 사용하여 모의시험을 수행 하였다.

Abstract

As a demand of IP based packet service is increasing, transport network is evolving from circuit based transport technology using TDM to Ethernet based packet transport technology. In this paper we introduce packet transport network based on PBB-TE and MPLS-TP and propose a quality of service(QoS) management scheme to satisfy various user requirements in packet transport network. The proposed flow-based QoS management scheme guarantees that per-flow bandwidth control satisfies the predefined QoS requirement perfectly under bandwidth congestion condition by using per-flow and per-PTL tunnel management. In order to evaluate the proposed scheme we defined flow and PTL tunnel per input frame and configured QoS parameters for each flow and PTL tunnel respectively. Simulation was done by using OPNET modeler 16.0 version.

Keywords : Packet transport, Flow, QoS, PTN

I. 서 론

통신분야의 급속한 성장으로 통신망은 기존의 TDM(Time-division Multiplexing) 회선 중심에 인터넷

* 정회원, 한국전자통신연구원
(Electronics and Telecommunication Research Institute)

** 정회원-교신저자, 충남대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Chungnam National University)

※ 본 논문은 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 지식경제 기술혁신사업(2008-S-009-04, 패킷-광 통합 스위치 기술 개발)의 연구 결과입니다.

접수일자: 2011년4월26일, 수정완료일: 2011년11월14일

서비스를 저가로 수용하는 다양한 방식의 네트워크가 혼재되어 운영유지 보수비용이 계속 증가하고 있으며, 액세스망의 복잡한 집선 구조는 QoS(Quality of Service), Fast Mobility, Premium VPN(Virtual Private Network)등의 서비스에 대한 경제적 제공에 구조적인 한계점으로 작용하고 있다. 또한 기존의 통신망은 지역 서버들이 집중국에 배치되어 있어 가입자-수용국-집중국의 계위를 거치는 액세스망 상에서 Live IPTV, Mobile IPTV, Multicast VPN등의 서비스를 안정적으로 제공하는데 구조적인 한계를 가지고 있다.

패킷 전송기술은 기존의 IP 라우터와 개별 전송망으로 구성된 현재의 네트워크 문제점을 보완하기 위해 제

안되어왔으나 패킷망의 태생적인 QoS 관리의 한계점과 확장성에 대한 문제를 해결해야하는 과제를 가지고 있다. 현재 사용되고 있는 TCP/IP 프로토콜은 패킷 손실이 발생하는 환경 하에서 상당한 성능저하를 초래하고 종단간 경로상의 최적화 미비로 큰 용량을 가진 버스트 트래픽이 유입될 경우 네트워크에서 유연하게 대처할 수 있는 방안이 필요하다.

IP QoS를 보장하기 위한 기술은 매우 활발히 연구되어왔다. 인터넷 표준화 기구인 IETF (Internet Engineering Task Force)에서 표준화된 IntServ^[7] 및 DiffServ^[8]기술은 QoS보장을 위해 잘 알려진 기술로서, IntServ의 경우 서비스별 단대단 QoS를 보장해줄 수 있는 반면 모든 라우터에서 경로마다 자원을 예약하고 모든 경로상의 라우터 상태를 관리해야하는 부담으로 현재는 사장된 기술로 평가받고 있으며, DiffServ의 경우 구현이 용이하고 대규모 망에서 적합하지만 클래스 기반의 QoS 관리의 한계로 동일 클래스로 설정된 서비스에 대한 대역 충돌 발생 시 QoS를 보장할 수 없는 문제점이 있다.

패킷 망에서의 또다른 QoS 보장방안으로 플로우 기반의 QoS 관리기술이 제안되었다.^[1~2, 4] 제안된 플로우 기반의 QoS관리 기술들은 입력된 패킷을 동일 특성을 가진 플로우로 구분하고 각 플로우 별 큐 관리를 수행함으로써 보다 세밀한 QoS를 제공한다. 그러나 사용자의 트래픽이 증가하고 단일 노드에서 관리해야하는 플로우 수가 증가하면서 플로우 별 큐 관리에 제약이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하고 패킷 전송망에서 전용선 수준의 QoS를 보장하기 위해 본 논문에서는 플로우 별 QoS 관리기술의 장점을 수용함과 동시에 동일 경로로 설정된 PTL 터널 별 큐를 관리함으로써 프리미엄 서비스의 QoS를 완벽하게 보장하면서 Best effort 서비스를 동시에 제공해 줄 수 있는 플로우 기반의 QoS 관리 방안을 제안한다.

다음에 이어지는 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 패킷 전송기술에 대해 간략히 살펴보고, III장에서는 패킷 전송망에서 플로우 기반의 QoS를 제공하는 방안에 대해 설명한다. IV장에서는 본 논문에서 제안된 방안에 대한 모의시험을 수행하고 그 결과를 분석한 후 마지막으로 V장에서 전체논문에 대한 결론을 맺는다.

II. 패킷 전송 기술

SONET/SDH와 같은 TDM 기술은 기존의 전송망에서 꾸준히 사용되어져 왔지만 IP 기반의 패킷 서비스에 대한 요구가 증가하면서 이러한 사용자의 요구사항을 효율적으로 적용시키지 못하고 있다. 이러한 이유로 패킷 전송 기술이 가격 효율적인 면에서 급격하게 확장되고 있다. 패킷 전송 기술이 기존의 TDM기술을 포함하여 확고한 자리를 잡기 위해 우선적으로 요구되는 특성이 SDH 수준의 경로 관리 능력과 보호 절체 기능이다. 이를 위해 패킷 전송망에서는 양 단간에 경로를 설정하고 주기적으로 관리하는 기능이 필요하며 특정 경로의 손실 시 신속한 절체를 수행 할 수 있는 능력이 요구된다. 또 하나의 주요한 특성은 사용자의 서비스 수준 협약을 만족하는 완벽한 서비스 품질을 보장해주는 기술이다.

이러한 요구조건을 만족하며 발전된 주요패킷 전송 기술은 이더넷 기반의 PBB-TE기술과 MPLS 기반의 MPLS-TP기술로 구분된다. 그림 1은 일반적인 패킷 전송망의 구조를 나타낸다. 그림 1에서 패킷 전송망은 여러 사용자 망 사이에서 전송 서비스를 제공하며 각 사용자와 연결된 프로바이더 에지노드(Provider Edge Node)와 각 에지노드를 연결해주는 전달 노드(Transit Node)로 구성되어 있다. 각 에지노드와 에지노드를 연결하여 전송서비스를 제공하는 경로를 PTL(Packet Transport Layer) 터널로 규정하여 사용한다. 사용자 망에서 패킷 전송망의 에지노드로 패킷이 입력되면 패킷 전송서비스를 위한 일련의 작업을 통해 주 PTL 터널과 경로에 이상이 발생했을 경우 절체를 수행할 수 있도록 보호 PTL 터널을 설정하고 대역 충돌이 발생할 경우 패킷별로 설정된 우선순위 및 보장 대역폭에 따라 QoS 관리를 수행한다.

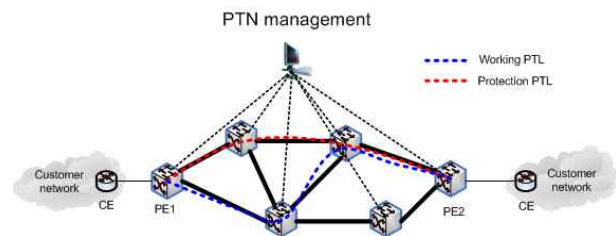


그림 1. 패킷 전송 망 구조

Fig. 1. Packet transport network architecture.

1. PBB-TE

근거리통신(LAN)을 위해 개발된 이더넷 기술은 메트로 망을 넘어서 백본망의 전송기술로까지 점차 그 영역을 확대하였다. 2009년 IEEE 802.1Qay 표준으로 제정된 PBB-TE(Provider Backbone Bridge - Traffic Engineering) 기술은 데이터 평면 기술로서 IEEE 803.1ah PBB를 적용하고, 패킷 전달경로에 대한 OAM (Operation and Management)을 위해 IEEE 802.1ag CFM(Connectivity Fault Management)을 적용하였으며, 패킷 전달 경로에 대한 1:1 보호절체 프로토콜을 규정한다. PBB-TE기술은 기존의 이더넷 기능 중 스페닝 트리 기능과 MAC 주소 학습 기능을 관리평면 또는 제어평면에 이관함으로써 점-대-점 또는 점-대-다중점 터널링 경로를 정적으로 설정하는 것을 기본으로 한다.^[12]

그림 2는 IEEE 802.1Qay 표준에 의해 정의된 MAC-in-MAC 프레임의 구조를 나타낸다. PBB-TE기반의 PTL 터널 아이디는 B-DA(Backbone Destination MAC Address), B-SA(Backbone Source MAC Address) 및 B-VID(Backbone VLAN ID)로 정의되며 둘 또는 그 이상의 프로바이더 에지 노드에서 프로비전된 연결지향적 서비스를 제공한다.

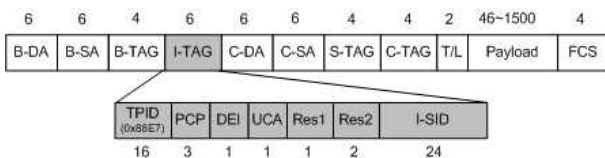


그림 2. MAC-in-MAC 프레임 구조
Fig. 2. MAC-in-MAC frame format.

2. MPLS-TP

기존의 MPLS를 단순화하여 코어망에서 패킷 전송 기술을 구현하기 위해 T-MPLS 기술이 제안되고 ITU-T 주도로 표준화 과정을 진행하였으나 IETF에서 기존 MPLS와의 호환성을 문제로 기존의 T-MPLS 표준화 작업을 중지하고 새로운 MPLS-TP 기술로 표준화 작업이 진행 중이다. MPLS-TP 기술은 MPLS 기술에 근간에 두고 있으나 기존 MPLS에서 제공하는 ECMP(Equal Cost Multiple Path), PHP(Penultimate Hop Popping) 및 IP 포워딩기능 없이 동작하는 것을 기본 전제로 하며 MPLS와 동일한 패킷 포워딩 방식을 사용하고, 패킷 전송을 위해 필요한 OAM 및 보호 절

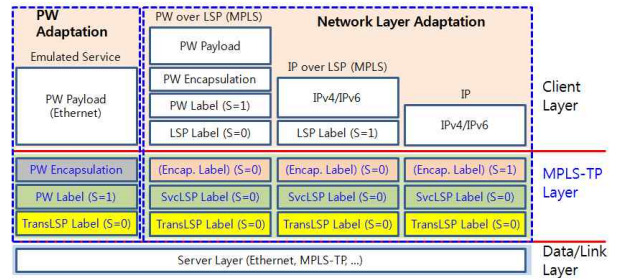


그림 3. MPLS-TP 프레임 구조
Fig. 3. MPLS-TP frame format.

체 기능을 추가한다. MPLS-TP 기술의 보호 절체 방식으로 1:1 선형 보호절체 방식, 링 보호 절체 방식 및 공유 메시 보호 절체 방식이 현재 표준화 과정 중에 있다.

그림 3은 각 사용자 서비스 별 MPLS-TP 프레임 구조를 나타낸다. MPLS-TP 기반의 PTL 터널 아이디는 PW(Pseudo Wire) Label 또는 서비스 LSP Label 과 Transport LSP Label로 정의되며 둘 또는 그 이상의 프로바이더 에지 노드에서 프로비전된 연결지향적 서비스를 제공한다.

III. 패킷 전송망에서의 QoS

패킷 전송망에서의 QoS는 제어 또는 관리 평면을 통해 미리 연결을 설정하고 자원을 할당하여 단대단 서비스 품질을 보장해 주는 방식을 사용한다. 서비스 품질을 결정하는 요인에는 대역폭(bandwidth), 지연시간(delay), 지터(jitter), 패킷 손실(loss) 등이 있다. 각 플로우 및 PTL 터널 별 QoS 파라미터(CIR, EIR, CBS, EBS, delay, jitter)는 제어 평면 또는 관리 평면에서 프로비전 되어 데이터 평면으로 전달된다.^[5]

전달된 각 플로우 및 PTL 터널 별 QoS 파라미터는 패킷 전송망에서 대역충돌이 발생할 경우 해당 패킷의 전송 또는 폐기를 결정하는 기준으로 사용 된다. 그림 4는 패킷 전송망의 프로바이더 에지노드(PE)에서 플로우 별 QoS 관리를 수행하기 위한 기능 구조를 나타낸다. 그림 4에서 입력되는 패킷은 플로우 설정테이블에 따라 플로우가 구분되고 각 플로우 별 컬러가 결정되며

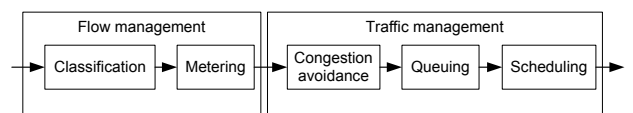


그림 4. QoS 관리 기능 구조
Fig. 4. Functional architecture of QoS management.

결정된 각 플로우별 컬러를 이용하여 대역충돌이 발생할 경우 충돌회피 과정을 수행한 후 PTL 터널 별 출력 큐를 통해 출력된다.

1. 패킷 분류 및 플로우 생성

패킷 전송망에서 플로우는 각 트래픽의 QoS, 통계치, 포워딩 경로, 자원 예약, PTL 터널 할당 및 보호 절체 경로 등의 정보를 포함하는 주요한 변수로 사용된다. 일반적으로 플로우는 IP 주소, 포트 정보 및 프로토콜 아이디를 기반으로 생성되거나 필요에 따라서 L2의 MAC 주소 또는 VID등이 추가되거나 L2 및 L3의 정보들을 통합하여 생성되기도 한다.^[6]

또한 패킷 전송망의 에지노드에서 생성된 플로우는 망내에서 유일한 값을 가져야 하며 동일 패킷은 동일 플로우로 관리되어야 한다. 이를 위해 플로우의 생성 시에는 일반적으로 해쉬 알고리즘을 사용하며 입력되는 모든 패킷은 해쉬 결과 값에 따라 플로우 별로 분류 된다.^[2]

분류된 각 플로우는 플로우 별 대역폭 사용율 등의 상태관리를 위해 TB(Token Bucket) 카운터가 할당되며 출력 큐의 결정을 위해 PTL 터널 아이디가 설정된다. 모든 플로우가 독립적인 큐를 사용하지 않고 PTL 터널별로 출력큐를 사용함에 따라 플로우의 수에 비례하여 출력큐를 관리해야 하는 문제를 해결 할 수 있다.

2. 컬러 결정

컬러 결정은 특정 플로우에 속한 입력된 패킷이 각 플로우 별 설정된 대역폭을 만족하는지 혹은 초과하는지를 결정하는 단계이다. 컬러 결정을 위해서 TB(Token Bucket) 방식을 사용하며 패킷의 입력시간을 t_j , 패킷의 크기를 l_j , 패킷의 허용 전송율을 CIR(Committed Information Rate), 패킷의 허용 버스트 크기를 CBS(Committed Burst Size), 패킷의 초과 전송율을 EIR(Excess Information Rate), 패킷의 초과 버스트 크기를 EBS(Excess Burst Size), 패킷이 입력된 시간 t_j 에서의 허용 또는 초과 토큰 버킷 크기를 각각 $B_c(t_j)$ 및 $B_e(t_j)$ 라 하고 식 (1)과 식(2)의해 계산될 때 입력 패킷의 컬러는 그림 5와 같이 결정 된다.^[11]

$$B_c(t_j) = \min\left\{CBS, B_c(t_{j-1}) + \frac{CIR}{8} \times (t_j - t_{j-1})\right\} \quad (1)$$

```

If( $l_j \leq B_c(t_j)$ ) then
  Declare service packet Green
   $B_c(t_j) = B_c(t_j) - l_j$ 

elseif( $l_j \leq B_e(t_j)$ ) then
  Declare service packet Yellow
   $B_e(t_j) = B_e(t_j) - l_j$ 

else
  Declare service packet Red
  
```

그림 5. 컬러 결정 알고리즘

Fig. 5. Color metering algorithm.

$$B_e(t_j) = \min\left\{EBS, B_e(t_{j-1}) + \frac{EIR}{8} \times (t_j - t_{j-1})\right\} \quad (2)$$

3. PTL 터널 별 큐 관리

PTL 터널은 패킷 전송망의 에지노드와 에지노드 사이에 설정되어 신뢰성 있는 패킷의 전송기능을 담당하며 각 PTL 터널 별 QoS 파라미터 및 보호 경로 등이 각각 설정된다. PTL 터널은 물리적인 인터페이스에 단일 또는 복수 설정이 가능하며 동일 경로로 설정된 하나 이상의 플로우를 PTL 터널에 설정할 수 있다. 제안된 패킷 전송망에서의 충돌 회피(Congestion avoidance), 출력 큐 관리는 PTL 터널 별로 수행된다.

WRED 방식은 트래픽의 폴리싱과 충돌회피를 위해 사용 된다. WRED 알고리즘은 패킷의 충돌이 발생할 경우 컬러 별로 설정된 프로파일에 따라 패킷을 전송할지 아니면 폐기할지를 결정 한다. WRED의 설정 파라미터는 최저 임계치(min_th), 최대 임계치(max_th), exponential_weight_factor(W_q) 및 최대 폐기 확률(max_drop)이며 출력포트의 대역폭을 MTU(Maximum Transmit Unit) 크기로 나눈 값을 B라 할 때 다음과 같이 계산 된다.^[3]

$$\text{최저 임계치}(\text{min_th}) = 0.03B \quad (3)$$

$$\text{최대 임계치}(\text{max_th}) = 0.1B \quad (4)$$

$$\text{exponential_weight_factor}(W_q) = 10/B \quad (5)$$

IV. 모의시험 및 결과

1. 모의시험 구성

패킷 전송망에서 플로우 별 품질보장형 서비스 모의

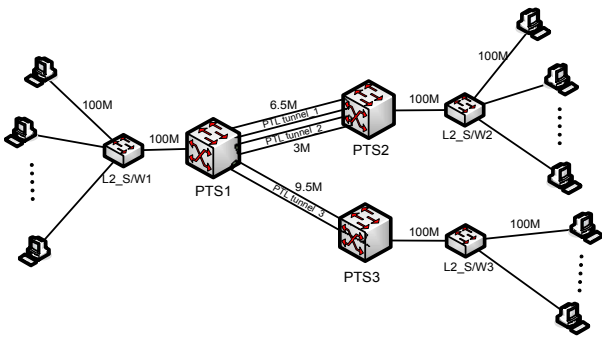


그림 6. 모의시험 망 구성
Fig. 6. Simulation topology configuration.

시험을 위해 그림 6과 같이 모의시험 망을 구성하였다. 각 호스트와 패킷전송 시스템(PTS)은 L2 스위치로 연결되어 있으며 이들은 각각 100M 이더넷 링크로 연결되어 있다.

가. PTL 터널 설정

각 패킷전송 시스템(PTS) 사이의 연결은 플로우 별 품질보장 서비스 시험을 위해 표 1과 같이 PTL 터널이 설정되어 있으며 각 PTL 터널 당 설정된 대역폭에 의해 패킷전송 시스템 간 전송율을 제한한다. 표 1에서 PTS1과 PTS2 사이에 설정된 PTL 터널 1과 PTL 터널 2는 동일한 물리적인 인터페이스(IF5)를 사용하지만 각기 다른 특성을 가진 논리적 터널로 구분된다. 즉, 하나의 물리적인 인터페이스(IF5)에 두 개의 논리적인 PTL 터널을 설정하고 PTL터널 1은 대역폭을 6.5Mbps로, PTL 터널 2는 대역폭을 3Mbps로 제한하도록 설정하였다. PTS1과 PTS3 사이에 설정된 PTL 터널 3은 물리적인 인터페이스(IF8)에 단일 PTL 터널이 설정된 경우이며 이때의 대역은 9.5 Mbps로 제한하도록 설정하였다.

표 1. PTL 터널 정의
Table 1. PTL tunnel definition.

Tunnel ID	Connection	B/W
1	PTS1/IF5 <-> PTS2/IF5	6.5 Mbps
2	PTS1/IF5 <-> PTS2/IF5	3 Mbps
3	PTS1/IF8 <-> PTS3/IF8	9.5 Mbps

나. QoS 파라미터 설정

패킷 전송망을 통해 전송되는 각 트래픽들은 사용자와 서비스 공급자간의 SLA(Service Level Agreement)에 의해 서비스 타입, 연결설정 파라미터 및 서비스 품

표 2. TB profile 파라미터 설정
Table 2. Parameter setting for TB profiles.

TB profile	CIR	CBS	EIR	EBS
1	0.5 Mbps	10 KB	6 Mbps	20 KB
2	3 Mbps	10 KB	6.5 Mbps	20 KB
3	1 Mbps	10 KB	2 Mbps	20 KB
4	2 Mbps	10 KB	4 Mbps	20 KB
5	1.9 Mbps	10 KB	2.5 Mbps	20 KB
6	-	10 KB	2.5 Mbps	20 KB

표 3. WRED profile 파라미터 설정
Table 3. Parameter setting for WRED profiles.

WRED profile		Red	Yellow	Green
1	min_th	0	15	30
	max_th	0	30	64
	max_drop	1	1	0.1
	W _q	-	0.018	0.018
2	min_th	0	20	40
	max_th	0	40	64
	max_drop	1	1	0.1
	W _q	-	0.012	0.012

질(QoS) 파라미터 등이 사전에 정의된다. 시험을 위해 설정된 QoS 파라미터 중 TB(Token Bucket) 프로파일과 WRED(Weighted Random Early Detect) 프로파일은 각각 표 2와 표 3과 같다. 표 2에 설정된 TB 프로파일은 IETF 및 MEF에서 표준화 된 trTCM^[10~11]에 규정된 파라미터 값들로, 설정된 파라미터에 의해 각 플로우 별 컬러(Green, Yellow, Red)를 결정한다. 표 3에 설정된 WRED 프로파일은 충돌회피(Congestion Avoidance)를 위해 사용되며 각 컬러별 임계치(Threshold) 설정에 의해 패킷의 전송 또는 폐기를 결정한다. 본 시험에서 Red 컬러 패킷은 큐에 입력됨과 동시에 폐기되도록 설정되었으며 WRED 프로파일에 따라 Yellow 컬러 패킷은 15와 30사이에서 또는 20과 40사이에서, Green 컬러 패킷은 30과 64사이에서 또는 40과 64사이에서 랜덤하게 폐기되도록 설정되었다. 충돌관리(Congestion Management)를 위해 WFQ(Weighted Fair Queuing) 스케줄링을 사용하였고 물리적인 인터페이스 대역폭별로 설정된 PTL 터널의 대역폭에 비례하도록 각 큐별 가중치를 설정하였다.

2. 시나리오 1 : 플로우 별 대역 보장

플로우 별 대역 보장 시험을 위해 표 4와 같이 4개의 독립적인 플로우를 설정하고 각 플로우 별 TB 프로파일, WRED 프로파일 및 PTL 터널 ID를 표 5와 같이

표 4. Flow 정의
Table 4. Flow definition.

Flow ID	DIP	SIP	protocol	DSCP
1	192.0.100.1	192.0.50.1	Any	BE
2	192.0.100.2	192.0.50.2	Any	AF33
3	192.0.100.3	192.0.50.3	Any	AF33
4	192.0.100.4	192.0.50.4	Any	AF33

표 5. Flow 별 QoS profiles
Table 5. Per Flow QoS profiles.

Flow ID	TB profile	WRED profile	PTL tunnel ID
1	1	1	1
2	2	1	1
3	3	1	1
4	4	1	1

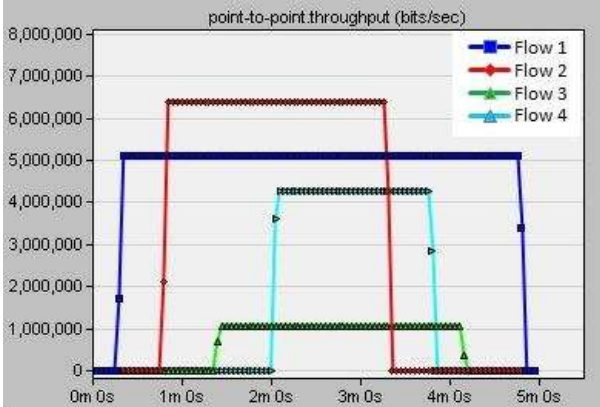


그림 7. 플로우 별 트래픽 송신
Fig. 7. Transmitted duration of each flow.

설정하였다. 각각의 플로우는 일반적인 5-tuple로 정의되거나 추가로 L2 MAC 주소, VLAN ID, 인터페이스 포트 번호 등을 사용하여 구분한다. 본 시험에서는 DIP, SIP 및 DSCP 필드를 사용하여 플로우를 구분하였다. 표 5에서 4개의 플로우는 CIR의 총 합이 PTL 터널 1의 대역폭을 초과하지 않도록 설정되었으며 EIR의 총 합은 PTL 터널 1의 대역폭을 초과하여 특정구간에서 대역폭이 발생하도록 설정하였다. 그림 7은 표 4에 설정된 각 플로우의 송신구간을 나타낸다. 가로축은 시험시간을, 세로축은 송신 데이터율을 각각 나타낸다. 첫 번째로 플로우 1은 5 Mbps의 송신율로 시험시간 10초에서 시작하여 시험시간 290초에서 종료되며 플로우 2는 6.5 Mbps의 송신율로 시험시간 40초에서 시작하여 시험시간 200초에서 종료되고 다음으로 플로우 3은 1 Mbps의 송신율로 시험시간 80초에서 시작하여 시험시간 250초에 종료된다. 마지막으로 플로우 4는 4 Mbps의 송신율로 시험시간 120초에서 시작하여 시험시간

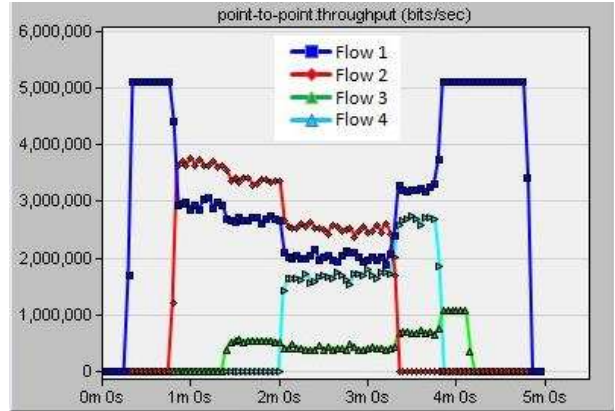


그림 8. 플로우 별 트래픽 수신율(no QoS)
Fig. 8. Received rate of each flow (no QoS).

230초에서 종료된다.

그림 8은 플로우 별 QoS 관리를 적용하지 않은 경우의 패킷 수신율에 대한 모의시험 결과를 나타낸다. 그림 8에서 시험시간 10초에 송신이 시작된 플로우 1은 플로우 2의 송신이 시작되기 전까지 5 Mbps의 수신율을 나타낸다. 이는 플로우 1을 제외한 다른 플로우가 없어 대역폭들이 존재하지 않기 때문이다. 그러나 시험시간 40초에서 플로우 2가 송신되기 시작하면 PTL 터널 1에 설정된 6.5 Mbps의 대역폭을 초과하므로 대역폭들이 발생하여 플로우 1은 3 Mbps로 급격히 수신율이 감소되며 이때 플로우 2는 3.5 Mbps의 수신율로 수신된다. 각 플로우가 속해있는 PTL 터널 1은 대역폭이 6.5 Mbps로 제한되어 있기 때문에 6.5 Mbps를 초과하는 모든 패킷은 충돌회피 알고리즘(WRED)에 의해 폐기된다. 더구나 플로우 3과 플로우 4가 추가되어 모든 플로우가 송신되는 시험시간 120초에서 200초 사이에서는 패킷 폐기율이 최대가 된다. 표 5에서 플로우 2는 TB 프로파일 3에 의해 CIR이 3 Mbps로 설정되어 있어 패킷 전송 시 3 Mbps의 대역폭을 보장하도록 요구되었으나 모의시험 결과 대역폭들이 가장 심하게 발생하는 시험시간 120초에서 200초 사이에서 설정된 CIR에 미치지 못하는 2.5 Mbps의 수신율을 보이고 있으며 플로우 3 및 플로우 4 또한 각각의 설정된 CIR에 못 미치는 수신율을 보이고 있다. 또한 플로우 1은 CIR이 0.5 Mbps로 4개의 플로우 중 가장 적은 CIR이 설정되어 있음에도 불구하고 시험시간 120초에서 200초 사이에서 플로우 3, 플로우 4보다 높은 수신율로 수신되고 있다. 이는 각각의 패킷들이 플로우 별로 대역관리가 되지 못하고 송신율에 비례하여 단순 폐기과정이 수행되기 때문이다. 따라서 플로우 별 대역관리가 수행되지 않은 그림 8

의 결과를 보면 PTL 터널 1의 각 플로우들은 대역충돌이 발생할 경우 설정된 서비스의 품질이 보장될 수 없음을 확인할 수 있다.

이와는 대조적으로 제안된 플로우 기반의 QoS 보장방안에서는 대역충돌이 발생할 경우 CIR을 초과한 Yellow 컬러 패킷이 먼저 폐기되도록 설정되었다. 그림 9는 동일 조건에서 플로우 별 대역관리가 수행된 경우의 패킷 수신율에 대한 모의시험 결과를 나타낸다. 각각의 플로우는 표 5와 같이 QoS 프로파일이 설정되어 각 플로우 별 TB 프로파일을 만족하는 패킷은 Green 컬러 패킷으로 분류되고 초과하는 패킷은 Yellow 컬러 패킷으로 분류된다. PTL 터널 1에서 대역충돌이 발생할 경우 Green 컬러 패킷은 보장되는 반면 Yellow 컬러 패킷은 WRED 프로파일 1에 설정된 Min_th, Max_th 및 패킷 폐기 확률(Drop probability)에 따라 랜덤하게 폐기된다. 그림 9에서 시험시간 10초에서 송신이 시작된 플로우 1은 그림 8과 같이 플로우 2의 송신이 시작되기 전까지 동일하게 수신되는 반면 플로우 2가 추가로 송신되면서부터 수신율의 차이를 보이고 있다. 더구나 플로우 3과 플로우 4의 송신이 추가된 경우 플로우 1의 수신율은 그림 8과 확연한 차이를 보이고 있다. 즉, 플로우 2, 플로우 3 및 플로우 4는 최대 대역충돌이 발생하는 시험시간 120초에서 200초 사이에서 설정된 대역폭을 완벽히 보장하여 수신되지만 플로우 1은 동일 기간 동안 수신율이 가장 적은 0.6 Mbps 정도를 유지한다. 이는 플로우 1의 CIR이 0.5 Mbps로 설정되어 0.5 Mbps를 초과하는 경우 Yellow 컬러 패킷으로 분류되고 우선적으로 폐기되기 때문이다. 물론 플로우 2, 플로우 3 및 플로우 4의 패킷들 중에서도 설정된 CIR을 초과하는 패킷은 Yellow 컬러 패킷으로 분류되

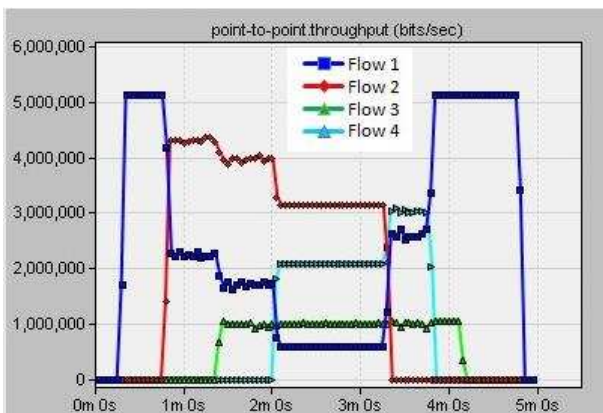


그림 9. 플로우 별 트래픽 수신율 (per flow QoS)
 Fig. 9. Received rate of each flow (per flow QoS).



그림 10. WRED 평균 큐 크기 (per flow QoS)
 Fig. 10. WRED average queue size (per flow QoS).

어 Green 컬러 패킷에 비해 우선적으로 폐기되지만 설정된 대역폭 3 Mbps, 1 Mbps, 2 Mbps를 각각 정확히 보장한다. 플로우 2, 플로우 3 및 플로우 4의 패킷 송신이 모두 완료된 시험시간 250초 이후에서 300초 사이에는 더 이상 대역충돌이 없기 때문에 플로우 1의 수신율은 송신된 5 Mbps로 모두 수신된다.

그림 10은 플로우 별 QoS 관리가 수행되는 경우 각각의 플로우가 추가됨에 따라 PTL 터널 1에 설정된 WRED의 평균 큐 크기 변화량을 나타낸다. 그림 10에서 시험시간 120초까지 플로우가 순차적으로 추가됨에 따라 WRED의 평균 큐 크기도 증가됨을 볼 수 있으며 모든 플로우가 PTL 터널 1에 인가된 시험시간 120초에서 200초 사이에서 최대의 큐 크기 값을 가진다. 비록 위의 시험기간 동안 대역충돌이 가장 심각하게 발생하지만 대역충돌에 의한 패킷의 폐기는 오직 Yellow 컬러 패킷의 경우에만 발생됨을 확인할 수 있다. 즉 표 3의 WRED 프로파일 1에 설정된 바와 같이 Yellow 컬러 패킷의 경우 큐의 크기가 15를 초과하면서부터 랜덤하게 패킷을 폐기하기 시작하고 이러한 패킷의 폐기 확률은 큐의 크기가 30에 이를 때까지 점차적으로 증가하게 된다. 반면 Green 컬러 패킷의 경우 큐의 크기가 30을 초과하면서부터 패킷의 폐기를 수행하도록 설정되었지만 그림 10에서 보는 바와 같이 큐의 크기가 30을 초과하는 경우가 발생하지 않아 원천적으로 Green 컬러 패킷이 폐기되는 현상이 발생하지 않는다.

3. 시나리오 2 :

동일 클래스 내에서의 플로우 별 QoS 관리

동일 클래스내에서 플로우 별 QoS 관리 시험을 위해 표 6과 같이 10개의 플로우를 설정하고 각 플로우 별 TB 프로파일, WRED 프로파일 및 PTL 터널 ID를 표

표 6. Flow 정의
Table 6. Flow definition.

Flow ID	DIP	SIP	Start time	DSCP
11 ~ 15	192.0.200.1 ~ 192.0.200.5	192.0.10.1 ~ 192.0.10.5	20 sec	AF33
16	192.0.200.6	192.0.10.6	30 sec	AF33
17	192.0.200.7	192.0.10.7	40 sec	AF33
18	192.0.200.8	192.0.10.8	50 sec	AF33
19	192.0.200.9	192.0.10.9	60 sec	AF33
20	192.0.200.10	192.0.10.10	70 sec	AF33

표 7. Flow 별 QoS profiles
Table 7. Per Flow QoS profiles.

Flow ID	TB profile	WRED profile	PTL tunnel ID
11 ~ 15	5	2	3
16 ~ 20	6	2	3

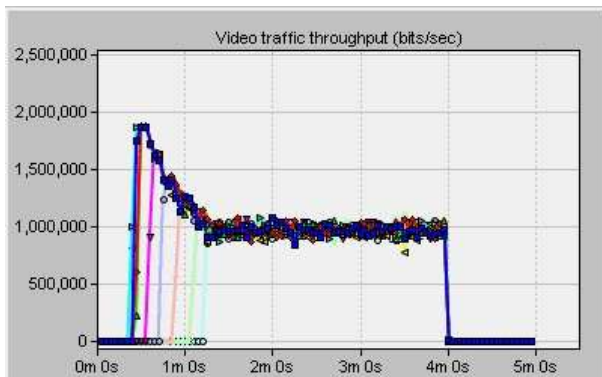


그림 11. 비디오 트래픽 수신율(per class QoS)
Fig. 11. Received rate of video traffic (per class QoS).

7과 같이 설정한다. 각 플로우는 동일 클래스에 속한 비디오 스트리밍 트래픽으로 본 시험에서는 DIP, SIP 및 DSCP로 각각의 플로우를 구분하도록 설정하였다. 표 6에서 플로우 11에서 플로우 15까지는 1.9 Mbps의 송신율로 시험시간 20초에서 시작하여 시험시간 240초에 종료되며 PTL 터널 3에 설정된 대역폭을 100% 사용한다. 플로우 16에서 플로우 20까지는 기존에 서비스되고 있는 PTL 터널 3에 시험시간 30초부터 10초간격을 두고 순차적으로 새로운 플로우가 추가되는 트래픽을 나타낸다. 이때 송신율 또한 1.9 Mbps로 동일하다.

그림 11은 기존에 서비스되고 있는 PTL 터널 3에 새로운 플로우가 추가되었을 때 클래스 별로 QoS가 관리되는 경우의 패킷 수신율에 대한 모의시험 결과를 나타낸다. 그림 11에서 시험시간 20초에 시작된 5개의 비디오 서비스 트래픽은 PTL 터널 3에 설정된 대역폭 9.5 Mbps를 초과하지 않기 때문에 송신된 패킷이 모두 수

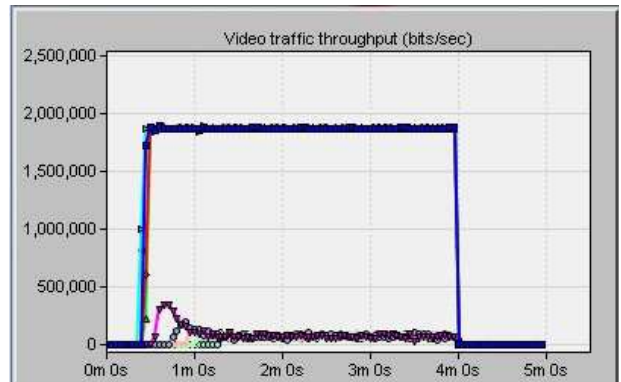


그림 12. 비디오 트래픽 수신율(per flow QoS)
Fig. 12. Received rate of video traffic (per flow QoS).

심됨을 볼 수 있는 반면 시험시간 30초부터 새로운 비디오 서비스 트래픽(플로우 16 ~ 플로우 20)이 추가됨에 따라 PTL 터널 3에 설정된 대역폭을 초과하여 대역 충돌이 발생하게 되고 이에 따라 비디오 서비스 트래픽의 수신율이 선형적으로 감소함을 볼 수 있다. 결국 플로우 16부터 플로우 20까지 5개의 추가적인 비디오 서비스 트래픽이 모두 PTL 터널 3에 추가되었을 경우 새롭게 추가된 비디오 서비스 트래픽(플로우 16 ~ 20)은 물론 기존에 서비스되고 있던 비디오 서비스 트래픽(플로우 11 ~ 15)까지도 영향을 받아 수신율이 약 50%로 감소되었다. 이는 각각의 비디오 서비스 트래픽이 클래스 별로 QoS 관리가 수행되기 때문이며, 동일 클래스 내에서 대역충돌이 발생할 경우 플로우 별 대역 제한이 불가능하여 사용자가 요구하는 단대단 QoS를 보장할 수 없다.

그림 12는 기존에 서비스되고 있는 PTL 터널 3에 새로운 플로우가 추가되었을 때 플로우 별로 QoS가 관리되는 경우의 패킷 수신율에 대한 모의시험 결과를 나타낸다. 그림 12에서 시험시간 20초에 시작된 5개의 비디오 서비스 트래픽은 그림 11과 같이 PTL 터널 3에 설정된 대역폭을 초과하지 않기 때문에 송신된 패킷이 모두 수신됨을 볼 수 있다. 그러나 시험시간 30초부터 새로운 트래픽이 추가되어 대역충돌이 발생된 경우 기존 비디오 서비스 트래픽(플로우 11 ~ 15)은 표 7에 설정된 TB 프로파일에 따라 CIR 1.9 Mbps를 만족하는 패킷에 대해 Green 컬러 패킷으로 분류되어 패킷 전송을 보장해주는 반면 추가된 비디오 서비스 트래픽(플로우 16 ~ 20)은 CIR이 설정되지 않았기 때문에 추가된 모든 트래픽이 Yellow 컬러 패킷으로 분류되어 우선적으로 폐기된다. 따라서 그림 12에서와 같이 기존에 서비

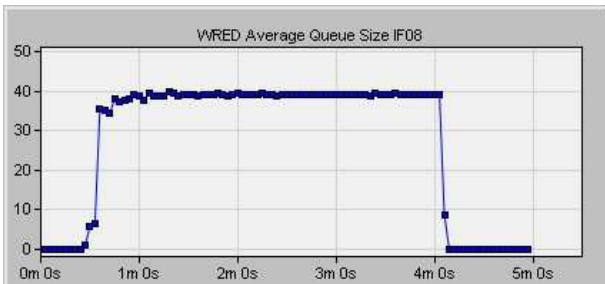


그림 13. WRED 평균 큐 크기 (per flow QoS)
 Fig. 13. WRED average queue size (per flow QoS).

스 되고 있는 비디오 서비스 트래픽은 추가된 비디오 서비스 트래픽에 의해 수신율이 감소되는 문제가 발생하지 않아 품질의 저하 없이 완벽한 단대단 QoS를 보장해 줄 수 있다.

그림 13은 플로우 별 QoS 관리가 수행되는 경우 PTL 터널 3에 설정된 WRED의 평균 큐 크기를 나타낸다. 각각의 플로우는 미리 설정된 TB 프로파일에 따라 Green, Yellow, Red 컬러로 분류되고 WRED 프로파일에 의해 패킷의 폐기 확률이 정해진다. 그림 13에서 PTL 터널 3에 설정된 큐의 평균 크기는 40을 초과하지 않은 상태로 모의시험이 종료될 때 까지 유지됨을 볼 수 있다. 표 3에서 설정된 WRED 프로파일 2에 의해 Yellow 컬러로 분류된 패킷은 큐의 평균 크기가 20을 초과하여 40이 될 때까지 랜덤하게 폐기되며 Green 컬러로 분류된 패킷은 큐의 크기가 40을 초과하여 64가 될 때까지 랜덤하게 폐기된다. 따라서 대역충돌이 발생할 경우에도 패킷의 폐기는 오직 Yellow 컬러로 분류된 패킷에 대해서만 발생함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 최근 활발히 연구되어지고 있는 패킷 전송 기술에 대해 소개하고, 패킷 전송망에서 요구되는 단대단 서비스 품질 보장을 위해 플로우 기반의 QoS 관리 방안을 제시하였다. 제안된 방식의 성능을 분석하기 위해 플로우 및 PTL 터널을 정의 하였으며 각 플로우 별 및 PTL 터널 별 QoS 파라미터를 설정한 후 대역충돌 상황을 가정하여 모의시험을 수행하였다.

모의시험을 통해 대역충돌이 발생할 경우 각 플로우 별로 설정된 QoS 파라미터에 따라 컬러를 결정하고 설정된 대역폭을 초과하는 경우 우선적으로 패킷을 폐기하여 사용자가 요구하는 대역폭을 완벽하게 보장해 줄

수 있음을 확인하였다. 또한 동일 클래스로 서비스가 제공되는 환경에서 플로우 별 대역관리를 수행함으로써 기존에 서비스 중인 비디오 스트리밍 트래픽이 새롭게 추가되는 트래픽에 영향을 받지 않고 완벽한 서비스를 제공하는 것을 확인하였다.

제안된 플로우 기반 QoS 관리 방안은 현재 개발 중인 패킷-광 통합 시스템에 적용하여 구현 중에 있으며 PBB-TE기반의 PTS 모듈에 일차적으로 구현하여 시험 및 검증을 완료하였다. 실제 구현된 시스템에서 라인카드 당 설정된 플로우는 30만 플로우이며 4K개의 PTL 터널에 매핑된다. 또한 MPLS-TP 기반의 PTS 모듈에 동일한 방식으로 구현하여 시험 중에 있으며 향후 자체 검증 및 현장 시험을 통해 수정 보완과정이 완료되면 패킷 전송망 구축에 주요 시스템으로 사용될 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] N. Yamagaki, H. Tode, and K. Murakami, "DMFQ: Hardware Design of Flow-Based Queue Management Scheme for Improving the Fairness," *IEICET Trans. Comm.*, vol. E88-B, no.4, pp.1413-1423, Apr. 2005.
- [2] Z. Cao and Z. Wang, "Flow Identification for Supporting Per-Flow Queuing," *Computer Comm. and Networks*, pp.88-93, Oct. 2000.
- [3] Srinivas Vegesna, "IP Quality of Service", *Cisco Press*, pp.144-145, 2001.
- [4] D. Yamamoto, H. Tode, T. Masaki, and K. MuraKami, "Design and Empirical Evaluation of Control Scheme for End-to-End Delay Stabilization an Packet Loss Improvement in Broadband IP Network," *IEEEICCCN*, TP9, Hawaii, USA, Aug. 2007.
- [5] Eunyoung Cho et al, "Establishing On-demand Path Connection of Packet/Optical Integrated Transport System," *ipop2010*, P-5. ,Tokyo, Japan, Jun. 2010
- [6] C. Choi and W. Kim, "Integrated Flow Management in Packet Transport System", *ICACT2011*, pp.239-243, Korea, Feb. 2011.
- [7] R. Braden et al, *Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview*, IETF RFC1633, June 1994.
- [8] S. Blake et al, *An Architecture for Differentiated Services*, IETF RFC2475, Dec.1998.
- [9] J. Heinanen and R. Guerin, *A single Rate Three*

Color Marker, IETF RFC2697, Sep. 1999.

[10] J. Heinanen and R. Guerin, A Two Rate Three Color Marker, IETF RFC2697, Sep. 1999.

[11] Metro Ethernet Forum, MEF 5, Traffic Management Specification: Phase1, May 2004.

[12] IEEE Std 802.1Qay - 2009, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Virtual Bridged Local Area Networks--Amendment: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering, June 2009.

— 저 자 소 개 —



최 창 호(정회원)
 1998년 2월 전북대학교
 자원공학과 학사
 2000년 8월 전북대학교 정보통신
 공학과 석사
 2007년 3월 ~ 현재 충남대학교
 전자.전파.정보통신공학과
 박사과정

2000년 8월~현재 한국전자통신연구원 연구원
 <주관심분야 : 캐리어 이더넷, Packet Transport Network, QoS, Packet processing>



김 환 우(정회원)-교신저자
 1977년 2월 서울대학교
 전자공학과 학사
 1979년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 석사
 1988년 6월 University of Utah
 전기공학과 박사

1980년 6월~현재 충남대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 디지털 신호처리, 초고속 디지털 통신>