

# 이더넷에서의 QoS 보장을 위한 대역제한에 관한 연구

정희원 정 원 영\*, 박 종 수\*, 김 관 기\*, 이 정 희\*\*, 이 용 석\*

## A Study of a Rate Limit Method for QoS Guarantees in Ethernet

Won-young Chung\*, Jong-su Park\*, Pan-ki Kim\*, Jung-hee Lee\*\*,  
Yong-surk Lee\* *Regular Members*

### 요 약

현재 광대역통합망(BcN: Broadband convergence Network)에 대한 연구가 계속 진행 중에 있으며, 망의 규모가 커짐에 따라 가입자에 대한 서비스 품질(QoS: Quality of Service) 관리는 더욱 중요해 지고 있다. 3계층에서 QoS를 관리하는 것은 메모리의 크기나 소비전력의 비중이 크기 때문에 2계층에서의 QoS 관리가 필요하게 되었다. 또한 BcN에서는 여러 사용자가 제한된 서비스 자원을 공유하므로 최선(Best-Effort)의 서비스를 지향하는 방식으로 발전되어 왔다. 그러나 현재는 가입자들이 최선의 서비스 보다는 비싼 요금을 내더라도 차별화 된 서비스를 요구하고 있다. 따라서 가입자를 구별할 수 있는 멀티서비스 스위치에서 각 가입자는 과금에 따라 다른 대역폭을 할당 받게 된다. 기존의 대역제한기(Rate Limiter)는 포트별로 대역을 제한하기 때문에 가입자별로 공평한 대역을 보장하기 어렵다. 하지만 본 논문에서 제안한 대역제한기는 가입자별로 대역을 제한하므로 모든 가입자가 스위치의 구조와는 상관없이 공평한 대역을 제공받게 된다. 또한 가입자는 과금에 따라 가입자별로 다른 대역폭을 할당받으며, 학습된 가입자의 수에 따라 이더넷 스위치의 상향 링크 대역폭에 맞추어 학습된 가입자의 대역폭이 같은 비율로 조정된다. 그러므로 이더넷 스위치의 최대성능을 유지하며 QoS도 효율적으로 관리해 준다.

**Key Words** : QoS Guarantees, BcN, Ethernet Switch, Multi-Service Switch, Rate Limiter

### ABSTRACT

Recently, a study of BcN(Broadband convergence Network) is progressing continuously, and it is important to improve the quality of the service according to subscribers because a scale of network is about to be larger. It is more important to manage QoS(Quality of Service) of all subscribers in layer 2 than layer 3 network since managing it in layer 3 network cost both additional processes and large hardware. Moreover, QoS based on Best-Effort service has been developed because lots of subscribers should use limited resource in BcN. However, they want to be supplied with different service even though they pay more charge. Therefore, it is essential to assign the different bandwidth to subscribers depending on their level of charge. The method of current Rate Limiter limits the bandwidth of each port that does not offer fair service to subscribers. The Rate Limiter proposed in this paper limits bandwidth according to each subscriber. Therefore, subscribers can get fair service regardless of switch structure. This new Rate Limiter controls the bandwidth of subscribers according to the information of learning subscriber and manages maximum performance of Ethernet switch and QoS.

※ 본 연구는 ETRI 멀티 서비스 개발 사업의 일환인 동적대역제한기 개발을 위한 위탁 연구 과제를 통해 수행되었습니다.

\* 연세대학교 전기전자공학과 프로세서 연구실 (wychung@dubiki.yonsei.ac.kr), \*\* 한국전자통신연구원(ETRI) (hilee@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-09-372, 접수일자 : 2006년 9월 5일, 최종논문접수일자 : 2007년 2월 6일

## I. 서론

이더넷의 발달로 이더넷 가입자 특성에 맞는 서비스 품질(QoS: Quality of Service) 제공 및 과금 체계를 위하여 가입자 단위의 서비스가 필요하게 되었다. 또한 2003년 11월부터 추진되고 있는 광대역통합망 (BcN: Broadband convergence Network)은 그림 1과 같이 유선과 무선, 방송과 통신, 음성과 데이터가 융합되어 하나의 통신망으로 서비스를 제공하며, 보다 큰 대역폭의 제공을 목적으로 하므로 가입자에 대한 QoS 관리는 더욱 중요해 지고 있다<sup>[1]</sup>.

BcN의 발전으로 더 많은 수의 가입자가 BcN에 연결될 것이다. 가입자에게는 기본적으로 하나의 포트가 주어지며, 가입자는 스위치 장치를 사용하여 여러 네트워크 장비들과 연결된다. 또한 수많은 포트들은 여러 개의 2계층 이더넷 스위치를 통해 집선되어 외부 네트워크로 나간다. 하지만 일반적으로 외부로 연결되는 상향 포트의 대역폭은 수많은 네트워크 장비들이 요구하는 대역폭을 만족 시키지 못하므로 이더넷 스위치 내부에서는 대역제한기를 두어 대역폭을 제한할 것이며, 여기서 QoS 보장의

문제가 발생하게 된다. 일반적인 기준의 2계층 이더넷 스위치는 포트별로 대역폭을 제한하기 때문에 특정 포트에 많은 가입자가 연결되었을 경우에는 가입자들에게 동일한 대역폭을 보장해 줄 수 없다. 따라서 2계층에서도 QoS에 대한 고려가 필요해 지고 있다.

선행연구에서는 2계층에서 효율적으로 가입자 단위의 서비스를 할 수 있는 방안 및 2계층 이더넷 스위치에 적용되어 가입자를 구분하는 가입자 구별 구조를 제안하였다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 구별된 가입자에 대한 QoS를 보장해 주기 위한 멀티서비스 스위치에서의 동적대역제한기의 구조를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 가입자 구별의 필요성 및 2계층에서의 QoS관리에 대하여 설명한다. 또한 선행 연구된 가입자 구별 방안에 대해 설명하고, 본 논문에서 제안한 대역제한기의 연구 필요성에 대하여 논의한다. III장에서는 제안된 대역제한기에 대하여 설명하며, IV장에서는 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 이용한 기존의 방식과 동적 대역제한기에 대한 시뮬레이션 및 결과 분석이 있겠다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련연구 및 연구의 필요성

### 2.1 가입자 구별의 필요성

멀티서비스 스위치(MSS: Multi- Service Switch) 소자의 응용 분야인 BcN에서는 망 구축 초기에 수요를 완벽하게 예측할 수 없고 망 구축 이후에 가입자 수의 증가에 따라 스위치가 추가로 설치되기 때문에 그림 2과 같이 다단계 비대칭형 스위치 연결 구조를 가진다. 그림 2에서 스위치 G를 예로 들어 살펴보면 각 스위치는 4개의 포트를 가지고 있으며, 스위치 G의 경우 3개의 포트는 가입자와 직접 연결되어 있지만 하나의 포트에는 하부 스위치들이 연결되어 있음을 알 수 있다. 이때 스위치 G에 연결된 포트 하부의 가입자를 모두 합하면 13명이 된다. 스위치 G의 상향링크 대역폭이 총 1Gbps라고 가정한다면 포트별로 동일한 대역을 할당할 경우 직접 접속된 가입자의 경우  $1\text{Gbps}/4=250\text{Mbps}$ 의 대역을 할당 받게 될 것이며 하부스위치에 연결된 가입자의 경우  $250\text{Mbps}/13 \approx 19.2\text{Mbps}$ 의 대역을 할당받게 된다. 반면 가입자별로 동일한 대역을 할당할 경우에는  $1\text{Gbps}/16 = 62.5\text{Mbps}$ 의 대역을 할당 받게 된다. 포트별로 대역을 제한할 경우에는 가입자별로 불공평한 대역을 제공받지만 가입

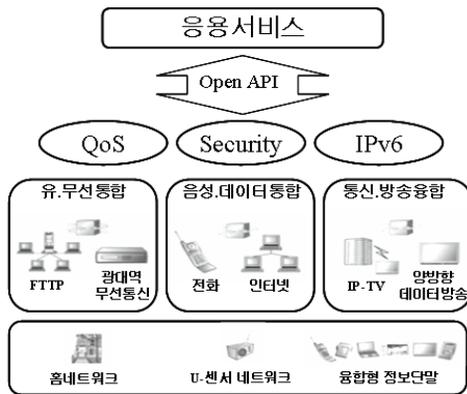


그림 1. 광대역통합망의 예

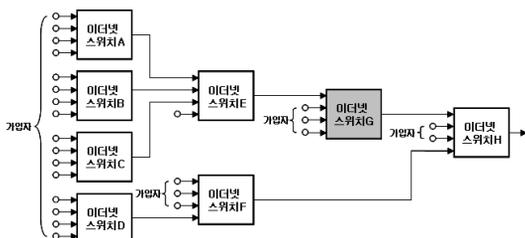


그림 2. 멀티서비스 스위치로 구성된 가입자망의 예

자별로 대역을 제한할 경우에는 모든 가입자가 이더넷 스위치와는 상관없이 공평한 대역을 제공받을 수 있다.

### 2.2 일반적인 2계층 QoS 관리

L2(Layer 2) 정보만을 이용하여 QoS를 지원하려면, 일반적으로 802.1p/q를 이용한다. 802.1p는 VLAN에 관한 규격으로써 원래 사용자 그룹을 논리적으로 분리하여, 동일 그룹 간에만 연결이 가능하도록 하는 것이 목적이다. 802.1q는 2바이트의 VLAN tag 필드 중 상위 3비트를 이용하여 프레임에 우선순위를 부여하고, 그 우선순위에 따라 각 네트워크 노드에서 프레임을 처리하는 것을 말한다.

L2 QoS의 동작 방식은 먼저 가입자 서비스에서 스위치로 입력되는 프레임에 우선순위 정보가 추가된 경우 QoS 정책에 따라 프레임을 처리하게 된다. 프레임을 입력받은 스위치는 가입자 프레임을 차별화 과정(classification)을 통해 분석한다. 분석 결과에 따라 입력 프레임에 포함된 우선순위 값을 스위치 내부적인 우선순위 값으로 다시 매핑시키게 된다. 예를 들어 Cisco사의 경우 CoS(Class of Service)를 정의하고 DSCP(Differentiated Services Code Point)에 여러 형태의 우선순위를 매핑하는 절차를 거치는 구조로 되어 있다. 내부적인 우선순위가 결정되면, 프레임은 우선순위별로 출력 버퍼에 저장되며 이때 버퍼의 개수는 가변적이다. 프레임이 버퍼에 저장된 후에 폴리싱과 측정(policing & metering) 기능이 지원될 경우, 프레임을 보다 선별적으로 폐기할 수 있게 된다. 일단 프레임이 버퍼에 저장되었다면, 스케줄러와 트래픽 셰이퍼(scheduler & traffic shaper)가 프레임의 전송순서와 전송간격을 조정하여 출력포트로 전송한다.

각 단계에서 일반적으로 많이 사용되는 알고리즘은 차별화 과정에선 입력 프레임의 우선순위를 분석하고 스위치 내부의 우선순위로 매핑하는 알고리즘, 폴리싱과 측정 과정에서는 srTCM(A Single Rate Three Color Marker), trTCM(A Two Rate Three Color Marker) 등의 알고리즘이 많이 사용된다<sup>3)[4]</sup>. 버퍼 관리(buffer management) 과정에서는 AQM(Active Queue Management) 알고리즘, 스케줄링과 셰이핑 과정에서는 strict priority, RR(Round Robin), DRR((Deficit Round Robin), WRR(Weighted Round Robin), WFQ(Weighted Fair Queuing) 등의 알고리즘이 적용된다<sup>5)</sup>. 이와 같은 QoS 처리 방식은 장비 업체마다 그리고 동일

한 업체의 장비라도 각 장비마다 조금씩 다른 알고리즘을 사용한다. 하지만 아직까지도 가입자 서비스에서 802.1q 프레임을 생성하는 서비스가 많지는 않은 상황이다.

### 2.3 선행연구된 가입자 구별 방안

IEEE 802.1ad Provider Bridge 표준안에서는 기존의 VLAN을 위한 태그 이외에 SLAN을 위한 태그(S-Tag)를 제공하고 있다<sup>1)[6]</sup>. 현재 이 S-Tag의 사용 방법에 대한 표준안 작성이 진행 중에 있으며, 3계층에서 사용하는 S-Tag를 2계층에서 차용해서 쓰더라도 네트워크상의 문제는 없다<sup>5)</sup>. S-Tag에 가입자 ID를 할당하고, 이더넷 스위치는 이 가입자 ID를 사용하여 스케줄링을 함으로써 가입자 단위의 서비스가 가능하다. 기존에 연구된 방안은 2계층에서 가입자 단위의 서비스를 가능하게 해줄 뿐만 아니라, 802.1p/q, 802.1ad 표준 및 MSS의 기본 구조를 그대로 따르고 있기 때문에, 기존의 네트워크나 BcN에 문제없이 적용될 수 있다<sup>2)</sup>.

### 2.4 동적대역제한기 연구의 필요성

회선교환이나 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 등의 QoS가 보장되는 방식과는 달리 BcN에서는 여러 사용자가 제한된 미디어 자원을 공유하므로 최선(Best-Effort)의 서비스를 지향하는 방식으로 발전되어 왔다. 하지만 현재는 최선의 서비스 보다는 비싼 요금을 내더라도 차별화 된 서비스를 요구하고 있다. 따라서 가입자를 구별할 수 있는 MSS에서 구별된 각각의 가입자는 과금에 따라 다른 대역폭을 할당 받게 된다. 이와 같이 다른 대역폭을 할당받은 가입자들이 학습되면 할당 받은 대역폭에 맞추어 패킷의 전송이 이루어진다. 하지만 학습된 가입자의 수가 적을 경우에 이더넷 스위치 입장에서는 더 많은 대역폭을 할당해 줄 수 있지만, 각 가입자는 할당받은 만큼의 대역폭만을 사용하게 되므로 최대의 성능을 유지 못한다. 예를 들어 상향링크 대역폭이 1.5Gbps이며 10명의 가입자를 수용할 수 있는 이더넷 스위치가 있고, 5명의 가입자는 200Mbps, 그리고 나머지 5명의 가입자는 100Mbps의 대역폭을 할당 받았다고 가정하자. 물론 10명의 가입자가 모두 학습되었다면, 과금에도 합당하고 상향링크의 최대대역폭에도 만족하므로 QoS도 보장되며 이더넷 스위치 또한 최대성능을 낸다. 하지만 100Mbps로 할당받은 5명의 가입자만 이더넷 스위치를 사용한다면 1.5Gbps를 사용할 수 있음에도 불

구하고 500Mbps만 사용하기 때문에 QoS는 보장되지만 이더넷 스위치 입장에서는 최대성능을 내지 못한 것이다.

따라서 본 연구에서는 과금에 따라 가입자마다 보장해 주어야 할 최소대역폭을 대역보장등급으로, 그리고 최대 할당해 줄 수 있는 대역폭을 대역제한등급으로 설정한다. 그리고 학습된 가입자 수에 따라 대역보장등급과 대역제한등급 사이의 대역조정등급을 산출하고 이를 통해 실질적으로 가입자가 제공받는 대역폭을 계산하여 QoS 관리뿐만 아니라 이더넷 스위치의 최대성능을 유지하여 학습된 가입자에게 보다 많은 대역폭을 제공해주는 대역제한기를 제안하였다.

### III. 제안된 대역제한기(Rate Limiter)

제안된 대역제한기는 스위치에서 현재 사용 중인 입력 트래픽을 모니터링하고 스위치 출력 허용 용량과 비교하여 대역 제한값을 자동적으로 조정하는 방식에 관한 것이다. 특히 일정 시간 동안에 가입자별 트래픽의 사용유무를 파악하여 입력 트래픽의 전체 대역폭을 연산하고 스위치 출력 포트에서의 폭주 가능성을 미리 예측하여 각 가입자와 출력 포트별 대역 제한값을 자동적으로 증감시킨다. 또한 코어망이 아닌 가입자망의 액세스 노드 앞단에 위치하여 드롭 될 패킷을 미리 드롭시킴으로써 저장 공간을 효율적으로 사용할 수 있다. 제안된 대역제한기의 규격은 다음과 같다.

- 대역 보장 최소 단위는 64Kbps로 한다.
- 대역보장등급(mi)은 32등급으로 한다. 1~16등급까지는 택내 가입자용이며 16~32등급은 기업 가입자용이다.
- 대역제한등급(ki)은 64등급으로 한다. 각 등급별 대역은 대역보장등급(G)에 대하여 일정 비율로 증가한다.
- 클래스의 개수는 2 클래스로 하며 클래스 변수로는 IEEE 802.1p를 이용한다. 입력 우선권에 대한 클래스 매핑은 소프트웨어 제어를 통하여 이루어진다.
- 가입자 구분은 4K 가입자로 한다. 가입자 별, 클래스 별로 트래픽 비율을 측정한다.
- 대역 초과로 인한 패킷 폐기 시에는 클래스 별로 폐기를 수행한다. 낮은 우선순위 클래스의 트래픽이 높은 우선순위 클래스의 트래픽보다 우선적으로 폐

표 1. 등급 별 대역 할당 (단위 : Kbps)

| 대역 보장 등급 | 배수증가 |       |       |        |        | 512Kbps 씩 증가 |        |         |
|----------|------|-------|-------|--------|--------|--------------|--------|---------|
|          | 1    | 2     | 3     | 4      | 5      | 6            | 32     |         |
| 대역 제한 등급 | 1    | 64    | 128   | 256    | 512    | 1,024        | 1,536  | 14,848  |
|          | 2    | 128   | 256   | 512    | 1,024  | 2,048        | 3,072  | 29,696  |
|          | 3    | 192   | 284   | 768    | 1,536  | 3,072        | 4,608  | 44,544  |
|          | 4    | 256   | 512   | 1,024  | 2,048  | 4,096        | 6,144  | 59,392  |
|          | 5    | 320   | 640   | 1,280  | 2,560  | 5,120        | 7,680  | 74,240  |
|          | 16   | 1,024 | 2,048 | 4,096  | 8,192  | 16,384       | 24,576 | 237,568 |
|          | 24   | 1,536 | 3,072 | 6,144  | 12,288 | 24,576       | 36,864 | 356,352 |
|          | 32   | 2,048 | 4,096 | 8,192  | 16,384 | 32,768       | 49,152 | 475,136 |
|          | 64   | 4,096 | 8,192 | 16,384 | 32,768 | 65,536       | 98,304 | 950,272 |

표 2. 대역 조정의 예

| 계약된 대역 제한 등급 | 조정된 대역 제한 등급 | Flow Control Rate =<br>입의 가입자의 조정된 제한 등급 값 /<br>입의 가입자의 계약된 제한 등급 값 |
|--------------|--------------|---|
| 64           | 1            | 0.015625 = (1/64)   |
|              | 16           | 0.25 = (16/64)  |
|              | 32           | 0.5 = (32/64)   |
|              | 48           | 0.75 = (48/64)  |
|              | 64           | 1 = (64/64)   |

표 3. 클래스 별 우선권 및 Rate Mapping

| Classes | 우선순위 | IEEE 802.1p Priority Mapping (programmable) |
|---------|------|---|
| 0       | 높음   | 0, 1, 7                                     |
| 1       | 낮음   | 2, 3, 4, 5, 6                               |

기된다.

- 가입자 포트 별 학습(Learning) 및 에이징(Aging)을 수행한다.
- 각 가입자 별 계약 보장 대역(G) 및 계약 제한 대역(L) 등급은 소프트웨어 제어를 통하여 설정된다. 제한등급 및 보장등급 설정은 운용 중 변경이 가능하다.
- 각 가입자 별 실질적인 가입자의 개수에 따라서 운용 중 조정되는 대역조정등급(BRLi)(표 1 참조)은 계약된 제한대역을 넘어서지 않아야 하며 또한 계약된 보장대역을 반드시 보장하여야 한다. 표 1에서 대역제한등급 1에 해당하는 열이 각 대역보장 등급을 의미한다.
- 동작중인 가입자별 계약 보장 대역의 합은 상향 링크의 용량(1Gbps)을 초과하지 않아야 한다.

표 2는 상태에 따른 대역조정등급의 예를 나타낸다. 계약된 대역제한등급이 64로 되어 있는 경우 대역조정등급은 1부터 64사이로 받을 수 있으며, 제안된 대역제한기의 상향 링크가 약 1Gbps(=950,272 Kbps)까지 지원하므로 최대 대역폭을 할당 받아 사용할 수 있다. 물론 가입자가 학습 되거나 에이징되

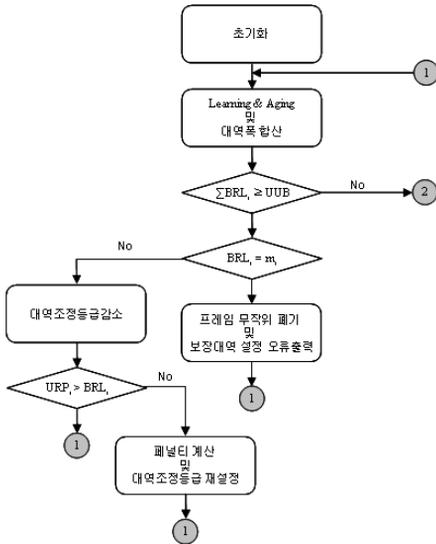


그림 3. 대역 조정 등급 설정 흐름도(1)

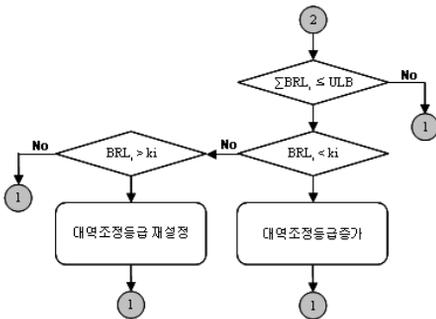


그림 4. 대역 조정 등급 설정 흐름도(2)

면 대역조정등급은 새로이 계산되며 제공되는 대역폭은 재조정 된다.

IEEE 802.1p에 대한 클래스 매핑의 경우 모든 가입자에 동일하게 설정이 된다(표 3 참조). 대역제한기의 등급설정 흐름도는 그림 3, 4와 같다. 그림 3에서 알 수 있듯이 대역조정등급 설정이 시작되면 초기화 블록에서는 대역조정등급을 대역제한등급으로 초기화 한다. 이와 같은 초기화 단계를 거치는 이유는 가입자별로 할당 받은 대역폭이 다르기 때문이며 대역제한등급으로 초기화함으로써 가입자별로 제공해 줄 수 있는 최대대역을 지원한다. 초기화 단계를 거친 후 가입자 학습 및 에이징을 검사하게 되고 현재 학습된 가입자에게 제공되는 대역폭을 합산( $\sum BRL_i$ )하게 된다. 새로운 가입자가 학습 될 때 혹은 에이징 될 때마다 대역조정등급은 새로이 계산된다. 다음으로 합산된 가입자의 대역폭이 상향

링크 최대 대역폭(UUB: Up-link Upper Bandwidth) 보다 크게 되면, 각 플로우에 대한 대역조정등급과 대역보장등급을 비교하여 같을 경우에는 보장대역 설정에 오류가 일어난 것이므로 프레임을 무작위 폐기하게 된다. 반면 각 대역조정등급이 각 대역보장등급과 다를 경우에는 대역조정등급을 각 가입자에 대하여 한 단계씩 감소한다. 또한 전상태 사용비율(URPi: Previous Used Rate)과 대역조정등급을 비교하여 대역조정등급이 작을 경우에는 'Learning & Aging 및 대역폭합산' 블록으로 가며 아닌 경우에는 '페널티 계산 및 대역조정등급 재설정' 블록으로 간다. 페널티는 새로운 가입자의 유입으로 인한 등급 조정 시 발생이 가능하며 등급이 낮아져서 전상태 사용량이 변경된 등급 조정 범위를 벗어나는 경우에 적용된다. 페널티 적용 시 어떤 경우에도 클래스 0은 보장등급으로 보장을 받아야 한다. 즉 클래스 0의 경우 항상 보장 등급이상으로 유지하여야 하며 클래스 1의 경우 클래스 1과 클래스 0에 대한 페널티를 모두 수용하여야 한다.

합산된 상향 가입자 대역폭이 상향링크 최대 대역폭(UUB: Up-link Upper Bandwidth)보다 작을 경우는 그림 4와 같다. 합산된 상향 가입자 대역폭이 상향링크 최소 대역폭(ULB: Up-link Lower Bandwidth)보다 작을 경우에는 각 대역조정등급과 대역제한등급을 비교하여 대역조정등급이 낮을 경우에는 각각의 대역조정등급을 균일하게 증가시켜주어 학습된 가입자에게 더 많은 대역폭을 할당해 주게 된다. 하지만 각 대역조정등급이 대역제한등급보다 클 경우는 대역조정등급을 대역제한등급으로 재설정하게 된다.

예를 들어 플로우 A가 대역보장등급 3등급을 받고 대역제한등급 40등급을 받았다고 가정하면 대략 1초당 플로우 A의 클래스 0은 32kbytes (=256kbits)를 보장받고 전체 전송량은 1,280 kbyte(=10,240kbits) 까지 보낼 수 있다. 특정 시각에 플로우 A의 사용량이 클래스 0 : 20kbyte, 클래스 1 : 820kbyte 라고 할 때 또 다른 플로우들이 급격히 유입되어 플로우 A의 대역조정등급을 10등급으로 낮춰야 할 경우가 생겼다. 이 경우 전체 전송량이 320kbyte로 수정되었다고 가정하면 플로우 A는 이미 사용량을 다 쓴 것이기 때문에 이후의 패킷들은 폐기해야 한다. 즉 각 가입자 별 입력 트래픽이 계약된 제한 등급 혹은 조정된 제한 등급을 초과하는 경우이므로 버림을 수행하게 된다. 이때 클래스 1 트래픽을 우선적으로 폐기하며, 클래스 0

은 항상 보장등급을 보장해 주어야 한다.

#### IV. 실험 및 결과 분석

기존의 L2 QoS 처리 방식과 제안된 대역제한기를 NS2(Network simulator)를 사용하여 검증하였다<sup>[7]</sup>. 시뮬레이션 상에서는 우선순위를 모두 같게 하였으므로 차별화 과정은 생략하였다. 폴리싱과 측정 과정에서는 srTCM 알고리즘을 사용하였으며, 버퍼 관리는 AQM 알고리즘 중에서 Droptail 방식을 적용하였다. 스케줄링과 웨이핑 과정에서는 기존에 많이 사용되고 있는 DRR(Deficit Round Robin), WRR (Weighted Round Robin) 알고리즘 총 2가지 모델을 선택하여 제안된 동적대역제한기와 비교하였다.

동적대역제한기를 포함한 기존의 방식들은 그림 5와 같이 임의의 다단계 비대칭형 스위치 모델로 구성하였다. 각 스위치(A~M)는 6개의 입력포트와 1개의 출력포트로 구성되어 있다. 또한 모든 링크는 10Mbps의 대역폭을 가지 있으며, 전송지연은 10ms로 설정하였다. 각 스위치의 입력포트는 가장 상위 포트부터 1000Bytes, 700Bytes, 500Bytes, 1000Bytes, 700Bytes, 500Bytes 크기를 갖는 패킷이 입력된다. 1~66은 가입자 ID 번호를 나타내고 있다. 가입자 1~54는 최종 노드까지 스위치를 세 단 거치게 되는데, 예를 들어 가입자 1의 경우 스위치 A, J, M 모두 세단의 스위치를 거쳐 최종 노드에 도착하게 된다. 가입자 55~63은 두 단을, 가입자 64~66은 한 단의 스위치를 거쳐 최종 목적지 노드에 도달하게 된다. 시뮬레이션은 CBR 트래픽 소스를 가진 UDP 에이전트 66개를 1초부터 11초까지 총 10초 동안 전송하였다. 그림 6은 각 모델의 가입자 별 전송된 패킷의 총량을 나타내고 있다.

DRR은 RR을 기본으로 하며 각 큐의 가중치에 비례하는 쿼텀(quantum)을 할당하고, 매 라운드마다 각각의 큐에서 쿼텀 양 까지만 패킷을 전송하게 된다. 만일 이전에 사용하지 못한 쿼텀의 잔여량이 있다면 그 양은 DC(deficit counter)에 저장한 후 다음 라운드에 더하여 사용된다. 본 시뮬레이션 모델에서는 가중치를 동일하게 하였으므로 그림 6의 a)와 같이 패킷 크기가 작고, 거치는 스위치의 단의 수가 적을수록 전송되는 패킷의 총량이 많음을 확인할 수 있다. 가입자별로 같은 가중치를 주었음에도 불구하고 포트별로 QoS가 보장되므로 64~66번 가입자처럼 상향 스위치에 직접적으로 연결된 가입자에게 높은 대역폭이 할당 받게 된다.

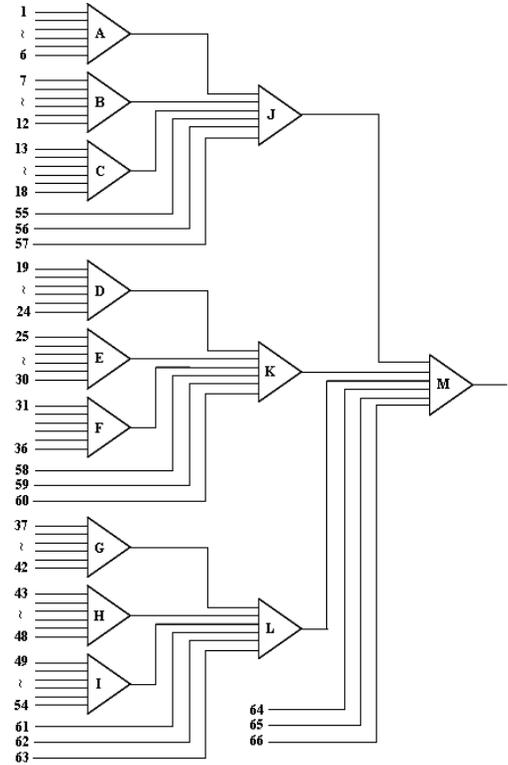


그림 5. 시뮬레이션에 사용된 다단계 비대칭형 스위치 모델

WRR은 서비스 가중치가 다른 경우에도 적용할 수 있도록 기본적인 RR 알고리즘을 개선한 방식이다. 가중치가 높으면 높을수록 서비스 할 수 있는 패킷의 수가 많아지므로 할당 받은 대역폭이 크다고 할 수 있다. 본 실험에서는 가입자별 가중치를 동일하게 설정하였으므로 그림 6의 b)와 같이 DRR과 유사한 결과를 도출하였다.

마지막으로 본 논문에서 제안한 방식을 단순화하여 실험한 동적대역제한기의 경우, 모든 가입자들은 같은 대역보장등급, 대역제한등급을 갖고 시작된다. 또한 가입자 학습 및 에이징 시간은 1초마다 하였으며, 그림 6의 c)와 같이 모든 가입자가 지속적으로 패킷을 전송하였으므로 총 대역폭에서 가입자수 만큼 나눈 대역폭을 각 가입자는 할당 받게 된다.

가입자별로 패킷의 크기나 거치는 스위치 단의 수와 관계없이 대체적으로 균등한 대역폭을 할당받음을 확인할 수 있었다. 이는 포트별로 대역폭을 조정하였을 때와 달리 가입자별로 대역폭을 동적으로 관리함으로써 다단계 비대칭형 스위치 구조에서도 QoS가 보장된다.

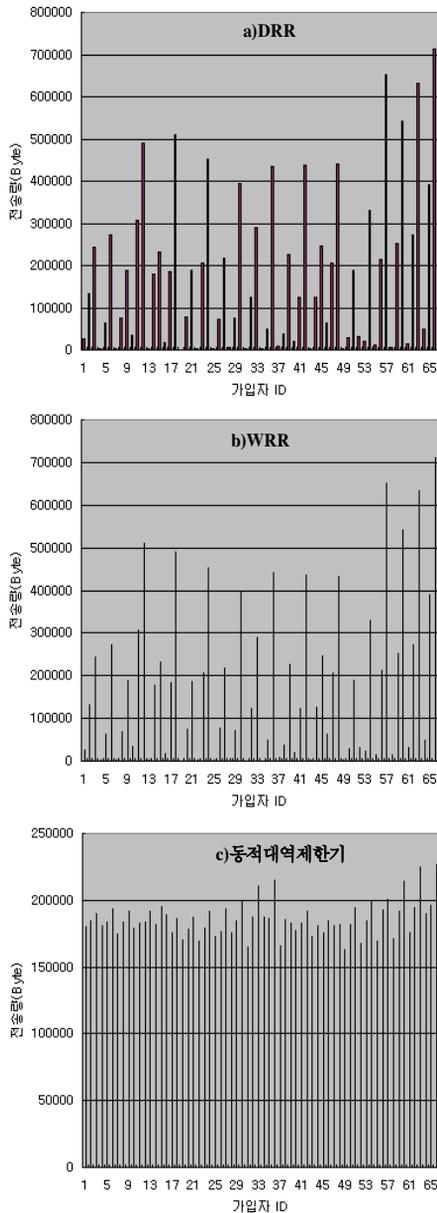


그림 6. DRR, WRR 적용 및 동적대역제한기 분석 결과

- a) srTCM, Droptail, DRR 알고리즘 적용
- b) srTCM, Droptail, WRR 알고리즘 적용
- c) 제안된 동적대역제한기

표 4. 각 방식에 대한 평균 및 표준편차

|         | 평균       | 표준편차   |
|---------|----------|--------|
| DRR     | 179689.4 | 1.0377 |
| WRR     | 179450   | 1.0405 |
| 동적대역제한기 | 185737.9 | 0.0694 |

표 4는 각 방식에 따른 평균 및 표준편차를 나타내고 있다. 모든 가입자가 패킷을 전송하고 있는 경우, 이론적으로 10초 동안 최종 스위치를 통과한 패킷의 총량은  $10\text{Mbps} \times 10\text{초} = 100\text{Mbits} (=12.5\text{Mbytes})$  이다. 가입자별로 동등한 대역폭을 할당 받으려면 각 가입자는  $12.5\text{Mbytes} / 66 \approx 189394\text{bytes}$ 씩 할당 받아야 한다. 표 4의 평균값에서 볼 수 있듯이 제안된 구조가 평균값이 크므로 스위치 효율 면에서 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 현재와 같은 다단계 비대칭형 스위치 모델에서 기존에 많이 사용하고 있는 알고리즘을 적용하면 표 4의 표준편차 값에서 알 수 있듯이 표준편차 값이 크므로 가입자 별로 균등한 대역 보장을 받았다고 할 수 없다. 반면 제안된 동적대역제한기의 경우 기존의 방식들에 비하여 낮은 표준편차 값을 보이므로 가입자 단위로 대역을 동적으로 조정함으로써 가입자들은 우선순위가 같을 경우 대체적으로 균등한 대역폭을 제공 받아 QoS가 효과적으로 관리됨을 확인할 수 있다.

### V. 결론

이더넷의 발달로 이더넷 가입자에 대한 과금 및 QoS 보장을 위해선 가입자 단위의 서비스가 필요하다. 최근 활발히 추진되고 있는 BcN은 보다 큰 대역폭의 제공을 목적으로 하고 있기 때문에 가입자에 대한 QoS 관리는 더욱 중요해 지고 있다. 가입자 단위의 서비스를 제공하기 위하여 플로우 정보나 MAC 주소를 사용하여 가입자를 인증하는 방안들이 연구되었지만, 3계층에서 QoS를 관리하는 것은 현실적으로 불가능하다.

선행연구에선 2계층 이더넷 스위치에 적용되는 가입자 구별 방안을 기반으로 QoS를 관리를 위한 방안을 최초로 제안하였다<sup>[12][8]</sup>.

본 논문에서 제안한 대역제한기는 모든 가입자가 스위치들의 구조와는 관계없이 공평한 대역을 제공할 수 있게 대역을 조정한다. 또한 과금에 따라 가입자 별로 할당 받은 대역폭은 학습된 가입자의 수에 따라 이더넷 스위치의 상향 링크 대역폭에 맞추어 재조정된다. 그러므로 이더넷 스위치의 최대 성능을 유지하게 되어 학습된 가입자에게 최대의 서비스를 제공하고 QoS도 효과적으로 관리한다.

참 고 문 헌

- [1] The Interworking Task Group of IEEE 802.1, "IEEE 802.1ad/D4.0 - Amendment 4 : Provider Bridges", *IEEE std*, 2005.
- [2] 권태현, 박중수, 박대근, 이용석 "이더넷에서 가입자 구별 및 공평한 접근에 관한 연구", *한국통신학회지(정보통신)* 제31권 7호, 2006.
- [3] Network Working Group, J. Heinanen, Telia Finland, R. Guerin, "A Single Rate Three Color Marker (IETF/rfc2697)", *RFC 2697*, Sep, 1999.
- [4] Network Working Group, J. Heinanen, Telia Finland, R. Guerin, "A Two Rate Three Color Marker (IETF/rfc2698)", *RFC 2698*, Sep, 1999.
- [5] Zheng Wang, Bell Labs, Lucent Technology, "Internet QoS, Architectures and Mechanisms for Quality of Service", *Morgan Kaufmann Publishers*, 2001.
- [6] Aggarwal, R., "OAM mechanisms in MPLS layer 2 transport networks", *Communications Magazine IEEE*, Volume 42, Issue 10, Page(s):124 - 130, Oct., 2004.
- [7] Kevin Fall, Kannan Varadhan "The ns Manual, formerly ns Notes and Documentation", Nov 6, 2006.
- [8] 윤중호, 조재현 "이더넷 기반 전달망 기술과 전송 품질보장을 위한 동기식 이더넷 기술", *한국통신학회지(정보통신)* 제22권 12호, 2005.

정 원 영 (Won-young Chung)

정회원



2005년 8월 연세대학교 전기전자공학과 학사  
 2005년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 이더넷 스위치, 마이크로프로세서, SoC

박 중 수 (Jong-su Park)

정회원



2002년 2월 경희대학교 전자공학과 학사  
 2004년 2월 경희대학교 전자공학과 석사  
 2004년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 영상처리, 마이크로

프로세서, SoC

김 판 기 (Pan-ki Kim)

정회원



2006년 2월 숭실대학교 전자공학과 학사  
 2006년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 네트워크 프로세서, 암호화 프로세서, SoC

이 정 희 (Jung-hee Lee)

정회원



1984년 2월 경북대학교 전자공학과 학사  
 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원 석사  
 1984년 3월~현재 한국전자통신연구원 광대역통합망 연구원

<관심분야> 네트워크 자원관리, 인터넷 QoS

이 용 석 (Yong-surk Lee)

정회원



1973년 2월 연세대학교 전기공학과 학사  
 1977년 2월 University of Michi-gan, Ann Arbor 석사  
 1981년 2월 University of Michi-gan, Ann Arbor 박사  
 1993년~현재 연세대학교 전기

전자공학과 교수

<관심분야> 마이크로프로세서, 네트워크 프로세서, 암호화 프로세서, SoC