

이더넷에서 가입자 구별 및 공평한 집선에 관한 연구

정회원 권태현*, 박종수*, 박대근**, 이용석*

A Study of the Method for Subscriber-Aware and Fair Aggregation Scheme in Ethernet

Tae-Hyun Kwon*, Jong-su Park*, Dae-Geun Park**, Yong-Surk Lee* *Regular Members*

요약

이더넷의 발달로 이더넷 가입자에 대한 과금이나 QoS 관리를 위하여 가입자 단위의 서비스가 필요하게 되었다. 최근 추진하고 있는 통신, 방송 및 인터넷등을 통합하는 광대역통합망(BcN: Broadband convergence Network)은 통신 및 방송 서비스의 질을 크게 개선시키고, 보다 큰 대역폭의 제공을 목적으로 하고 있기 때문에, 가입자에 대한 QoS 관리는 더욱 중요해 지고 있다. 그러나 현재까지 가입자 단위의 서비스를 제공하는 것에 대한 논의는 거의 이루어 지지 않고 있다. 이러한 가입자 단위의 서비스를 제공하기 위하여 몇몇 업체의 장비에서 플로우(flow) 정보를 이용하거나 IP 주소 또는 MAC 주소를 사용하여 가입자를 인증하는 방식이 3계층에서 이루어지고 있지만, 3계층에서 모든 가입자 단위의 서비스를 관리하는 것은 현실적으로 불가능 하다. 본 논문에서는 별도의 인증절차나 큰 하드웨어의 추가 없이 2계층에서 가입자 단위의 서비스를 할 수 있는 방안에 대해 제안하고, 제안하는 방안에 대한 효율성과 오버헤드에 대해 분석해 보았다. 2계층에서 가입자 단위의 서비스를 제공하는 방안은 본 논문에서 최초로 제안하는 것이며, 기존의 네트워크 구성이나 광대역통합망에 그대로 적용할 수 있다.

Key Words : QoS Guarantee, IEEE 802.1Q, IEEE 802.1ad, Broadband convergence Network(BcN)

ABSTRACT

A subscriber-oriented service became necessary for the QoS management due to the development of network. BcN(Broadband convergence Network) which incorporates communication, broadcasting and internet not only improves the quality of the communication and broadcasting service but also aims at broadband service. Therefore, QoS management for each subscriber becomes more important. Not yet, however, the discussion for the subscriber oriented QoS management is not activated. Although, there are several techniques for subscriber distinction using flow information, IP information or MAC information, but they are only processed in layer 3 network. Actually, it is impossible to manage QoS of all subscriber's in layer 3 network. In this paper, we propose a method for QoS management scheme that does not need additional processes or large hardware in layer 2 network and analyze efficiency and overheads. We propose the first subscriber-oriented service method in layer 2 network that is applicable to either existing network or BcN.

1. 서론

인터넷을 통합하는 광대역통합망(BcN: Broadband convergence Network)을 비롯하여, 최근 네트워크의 발달로 인해 유선과 무선 통신 서비스가 통합되고, 고정 및 이동 통신간의 통합뿐만 아니라 멀티미

1.1 연구배경

2003년 11월부터 추진되고 있는 통신과 방송 및

※ 본 연구는 ETRI 멀티 서비스 개발 사업의 일환인 가입자 식별 및 집선 방안 개발을 위한 위탁 연구 과제를 통해 수행되었습니다.

* 연세대학교 전기전자공학과 프로세서 연구실 (thkwon@dubiki.yonsei.ac.kr)

** 한국전자통신연구원(ETRI) (parkdg@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-05-247, 접수일자 : 2006년 5월 30일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 10일

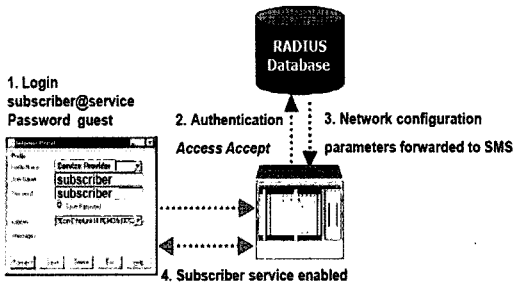


그림 1. SMS 장치에서의 가입자 인증 방식

디어와 방송을 융합한 서비스를 광대역으로 제공할 수 있는 환경이 구축되어 가고 있다. 이로 인해 더 많은 장치들이 광대역통합망에 접속하게 될 것이다. 사용자는 스위치를 사용하여 여러 네트워크 장치들을 연결할 것이며, 다른 여러 개의 스위치를 거치면서 외부 네트워크로 나갈 것이다. 이러한 망의 광대역화와 네트워크 규모의 증가는 주어진 대역폭에 대해 형평성 있는 분배와 적절한 과금 등을 필요로 하기 때문에 가입자 단위로 QoS를 보장하는 방안이 더욱 필요해 지고 있다¹⁾.

현재 QoS 관리는 플로우(flow) 정보를 이용하거나 IP 또는 MAC 정보를 이용하여 3계층에서 부분적으로 이루어지고 있지만 이는 종단간의 QoS를 보장해 주지는 못하고 있다. 플로우 방식의 경우 플로우 정보 사용을 위한 큰 저장 공간과 소모전력을 필요로 하기 때문에, 이를 그대로 2계층 이더넷 스위치에 기반을 둔 멀티서비스스위치(Multi-service Switch)소자나 2계층 이더넷 스위치 소자가 사용되는 저가의 다른 네트워크 장비들에서 구현하기 어렵다²⁾. 여기서 멀티서비스스위치는 인터넷, 음성, 방송 등의 속성이 다른 서비스를 고품질로 제공하기 위해 2계층 또는 3계층을 스위칭하는 장치를 말한다. QoS 관리를 위한 또 다른 방법으로 인증서버와 연계하여 가입자를 인증하는 방법이 있다. 레드백 네트워크(Redback networks)사의 SMS 장치가 그 대표적인 예이다. SMS에서의 가입자 인증 방법은 그림 1과 같다. 인증서버는 사용자 ID와 패스워드 또는 MAC 주소를 사용하여 가입자를 인증하고 해당 서비스로 연결해 준다. 이는 플로우 정보를 이용하는 방법에 비해 적은 소모전력과 메모리를 필요로 하지만, 인증절차를 거쳐야 한다는 불편함이 있다.

1.2 2계층에서 가입자 구별의 필요성

광대역통합망에서 2계층 망의 구성은 그림 2와

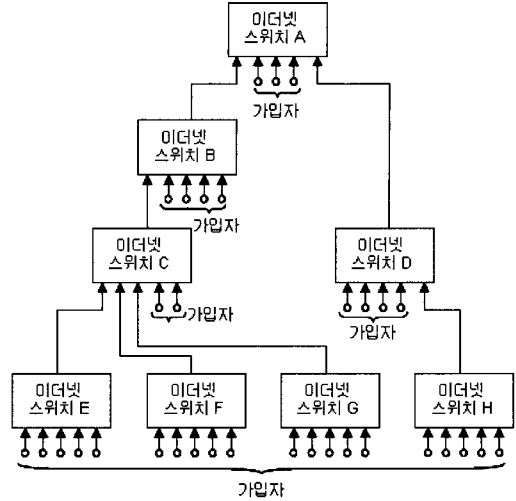


그림 2. 이더넷 망 구성의 예

같이 멀티서비스스위치가 사용되어 다단계 비대칭형 연결 구조를 가진다. 망 구축 초기에 수요를 완벽하게 예측할 수 없고 망이 구축된 이후에도 스위치나 가입자가 추가되기 때문이다. 그림 2에서 스위치 B의 5개의 포트 중 하나의 포트에는 스위치가 연결되어 있고 나머지 포트에는 가입자가 연결되어 있다. 스위치 B로 연결되는 가입자는 총 21명이다. 스위치 B가 총 20Gbps의 대역폭을 가진다고 가정하면, 스위치 B에 직접 연결되어 있는 4명의 가입자는 각각 4Gbps의 대역폭을 사용하게 되고, 스위치 C 이하에 연결된 17명의 가입자는 남은 4Gbps의 대역폭을 나누어 사용하게 된다. 이는 현재 이더넷 스위치가 각 포트에 대해 균등한 대역폭을 할당하기 때문이다. 스위치 E에 연결된 가입자는 스위치 B에 연결된 가입자에 비해 1/25 정도의 대역폭만을 사용할 수 있게 된다. 이는 같은 서비스에 가입하고 있다고 해도, 실제로 사용할 수 있는 대역폭이 크게 차이가 날 수 있다는 것을 보여준다. 실제 2계층 망은 보다 복잡하게 구성되어 있으며, 스위치는 더 많은 포트를 가지고 있기 때문에 서비스의 차이는 더욱 심하다. 이처럼 비대칭적으로 구성된 이더넷 기반 가입자 망에서 모든 가입자들이 공평한 서비스를 받기 위해서는 각 스위치에서 포트 단위가 아닌 가입자 단위의 서비스를 해야 한다.

본 논문에서는 이더넷 스위치 소자에 기반을 둔 멀티서비스 스위치 소자나 2계층에서 사용되는 저가의 다른 네트워크 장비들에서 종단간 QoS를 보장할 수 있는 방안을 제안할 것이다. 먼저 2장에서는 현재 표준화 작업중인 IEEE 802.1ad에서 S-VLAN

태그에 가입자 ID를 삽입하는 방안을 제안할 것이며, 3장에서는 가입자 ID의 구성과 할당에 대해 제안할 것이다. 4장에서는 가입자 ID 사용에 따른 오버헤드에 대해 분석할 것이다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 가입자 구별 방안

2.1 IEEE 802.1ad 프로바이더 브리지

802.1ad 프로바이더 브리지(Provider Bridge) 표준^[1]은 사업자용 브리지에 대한 표준으로서 망 사업자들이 라우터 대신 가입자들의 망 장비들을 고속이고 저렴한 브리지로 연결하고자 할 때 사용된다. 802.1Q의 확장 형태이며 현재 표준화 작업 중에 있다. 여기서 프로바이더 브리지의 인터페이스는 customer interface LAN에 연결되어 해당 사용자에게 서비스별로 구분되는 VLAN 태그를 부착 후, 다중화 하여 다른 프로바이더 브리지로 중계한다^[1].

이 때 고려하여야 할 사항은 802.1Q에서 제공하는 VLAN의 총 수가 4096개 밖에 되지 않아 이를 프로바이더 네트워크가 전체 네트워크 영역에서 서비스를 제공하기 위해서는 VLAN 개수의 확장이 필요하다는 것이다. 이를 위해 현재 논의 중인 해결책이 Q-in-Q 방식과 MAC-in-MAC 방식이다. 두 방식 모두 기존의 VLAN 태그 이외에 추가적인 필드를 가지게 되며, 우리는 여기서 추가되는 VLAN 필드에 가입자 정보를 추가 하고자 한다.

2.2 S-VLAN 태그에 가입자 ID 부여

그림 3은 Q-in-Q 프레임과 MAC-in-MAC 프레임을 비교한 것이다. 진하게 표시된 부분이 추가되는 필드를 나타낸다. Q-in-Q 방식과 MAC-in-MAC 방식은 프레임 형식은 다르지만 VLAN 개수의 확장을 위해 기존의 802.1Q에서 가지고 있던 C-VLAN (Customer VLAN) 태그 이외에 S-VLAN (Service VLAN) 태그를 추가하고 있다^[3]. MAC-in-MAC 방식이 보다 큰 프레임에 많은 정보를 표현 할 수 있다는 점에서 유리하지만, Q-in-Q 방식에 비해 프레임 구성이 복잡하고 처리과정 역시 복잡하다. 이더넷 망의 가입자가 MAC-in-MAC에서 추가되는 필드를 다 채울 만큼 많지 않다는 점을 고려할 때, Q-in-Q 방식이 2계층에서 사용되는 멀티서비스 스위치 소자에 적합하다고 볼 수 있다. 이 후 가입자 ID의 구성과 할당에 대해서는 Q-in-Q 방식을 기본으로 설명하겠지만, 둘 중 어떤 방식이 선택되어 지

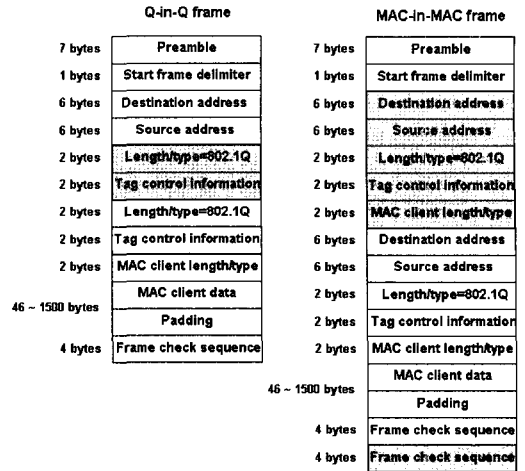


그림 3. Q-in-Q 프레임과 MAC-in-MAC 프레임

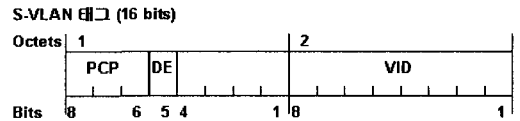


그림 4. S-VLAN 태그의 구성

더라도 동일하게 적용되어 질 수 있다.

S-VLAN 태그의 필드 구성은 그림 4와 같다^[1]. S-VLAN 태그의 각 필드는 5번째 비트의 DE를 제외하고 기존의 C-VLAN 태그와 동일하다. 이 S-VLAN 태그는 앞서 말했듯이 VLAN 태그 개수 확장을 위해 추가 된 것이며, 2계층에서는 사용되지 않는다. 그렇기 때문에 이 16비트의 필드에 가입자 ID를 부여하고, 2계층에서 가입자 구분을 위해 사용할 수 있다. 이 후 3계층에서는, 새로운 값을 부여받고 프로바이더 브리지 기능을 위한 필드로 사용 된다^[4]. 이 16비트 태그로 약 65,536(2¹⁶)명의 가입자 정보를 저장할 수 있다. 다음 장에서는 가입자 ID의 구성과 할당하는 방법에 대해 설명할 것이다.

III. 가입자 ID 구성 및 할당

3.1 가입자 ID의 구성

2장에서 살펴본 것과 같이 S-VLAN 태그를 사용하면 가입자의 정보를 삽입 할 수 있는 공간이 생긴다. 가입자 정보의 구성은 멀티서비스 스위치의 복잡도와 가입자 구별의 효율성을 고려하여 다음의 두 가지 방식으로 생각해 볼 수 있다.

첫 번째는 16비트를 순서대로 넘버링 하여 사용하는 것이다. 이 방식은 그림 5와 같이 가입자가

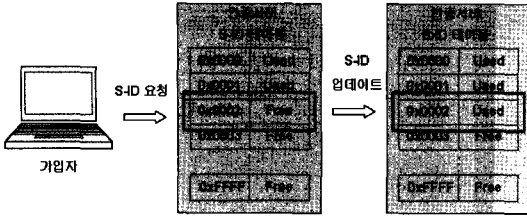


그림 5. S-ID를 순서대로 넘버링 하는 경우



그림 6. S-ID를 스위치 ID와 포트번호로 구성하는 경우

ID를 요청할 때마다 비어있는 ID를 부여하고 가입자 ID 테이블을 업데이트 한다. 이 방식의 장점은 16 비트의 S-VLAN 태그를 모두 사용할 수 있으므로, 총 65536의 가입자를 표시할 수 있다. 단점은 넘버링 또는 업데이트 과정에서 가입자 ID가 중복 될 수 있다는 것이다.

두 번째로 가입자 ID를 그림 6과 같이 스위치 ID와 포트번호를 조합하여 구성 할 수 있다. 현재 2계층에서 하나의 스위치에 연결되는 가입자의 수를 고려할 때, 포트번호에 7bit(128포트)를 부여하면 스위치 ID에 9bit(512개 스위치)를 할당 할 수 있다. 이 방식의 장점은 스위치 ID가 결정되어 있기 때문에 가입자 ID 중복의 위험이 없고, 16비트 모두를 할당하지 않고, 스위치 ID만 할당하면 포트번호는 자동으로 조합할 수 있다는 것이다. 단점은 각 스위치의 모든 포트에 가입자가 연결되지 않는다면 가입자 ID가 일부 낭비될 수 있다는 것이다.

두 방식 모두 구현이 가능하지만, 가입자 ID 부여 과정에서 더 적은 비트만 할당하면 된다는 점과, 중복의 위험이 적다는 면에서 스위치 ID와 포트번호를 조합하는 방법이 더 효율적이다.

3.2 가입자 ID의 할당

가입자 ID를 할당하는 방법은 인증서버를 사용하는 경우와 인증서버를 사용하지 않는 경우로 나눌 수 있다. 인증 서버를 사용하는 경우는 다시 가입자 ID를 순서대로 넘버링 하는 경우와, 스위치 ID와 포트번호로 구성하는 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다. 인증서버가 없는 경우는 스위치 ID의 사용이 불가피 하기 때문에 스위치 ID와 포트번호를 사용한 방법만 고려한다. 여기서의 인증이란 가입자가

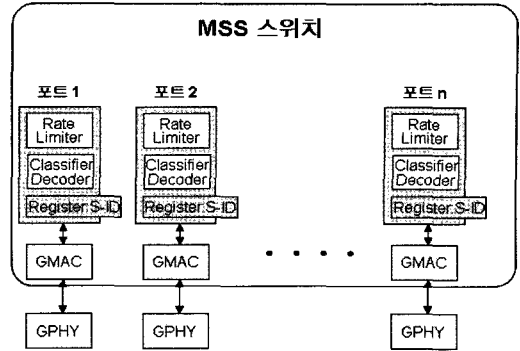


그림 7. 멀티서비스스위치 포트 구성

직접 서버와 통신 후 인증을 받는 것을 말하는 것이 아니라, 자동으로 가입자 ID를 할당 받는 것을 말한다. 세 가지 경우의 상세 동작은 다음과 같다.

- 1) 인증서버를 사용하며 순서대로 가입자 ID를 넘버링 하는 경우
 - 스위치로 패킷이 들어오게 되면, S-VLAN 태그의 유무를 확인한다. S-VLAN 태그를 가지고 있으면 하위 스위치로부터 올라온 패킷이기 때문에 그대로 스위칭 한다. S-VLAN 태그가 없는 경우는 가입자로부터의 패킷으로 간주하고, 스위치는 가입자 ID를 할당받기 위해 인증서버에 요청한다. 이 때 프로토콜은 EAPoR^[5]을 사용한다.
 - 인증서버는 요청에 대해, 가입자 ID 테이블에서 사용 가능한 가입자 ID를 찾아 다시 EAPoR을 통하여 해당 스위치로 전송한다.
 - 스위치는 해당 포트의 S-ID 레지스터에 할당된 가입자 ID를 저장한다. 여기서 S-ID 레지스터는 가입자 ID를 기록할 수 있는 비휘발성 메모리의 형태로 각 포트마다 가지고 있으며 그림 7과 같다.
- 2) 인증서버를 사용하며 스위치 ID와 포트번호로 가입자 ID를 구성하는 경우
 - 망 구성 초기에 모든 스위치는 인증서버로부터 중복되지 않게 스위치 ID를 할당받고, 이 스위치 ID에 포트번호를 추가하여 각 포트에 가입자 ID를 생성한다.
 - 패킷의 S-VLAN 태그 유무를 확인하여 S-VLAN 태그가 있으면 그대로 스위칭 하고, 없는 경우는 가입자 ID를 추가하여 스위칭 한다.
 - 스위치가 추가되는 경우, 스위치는 인증서버에게 스위치 ID 할당을 요구하고, 인증서버

는 스위치 ID 테이블에서 사용 가능한 스위치 ID를 찾아 EAPoR을 통하여 해당 스위치로 전송한다.

- 3) 인증서버를 사용하지 않는 가입자 ID 할당
- 스페닝트리 프로토콜에 의해서 스위치들은 루트 브리지를 알게 된다.
 - 모든 스위치에는 스위치 ID 테이블을 가지고 있어서, 어떠한 스위치가 루트 브리지 역할을 해도 상관없다. 스위치는 스위치 ID를 할당받기 위해 루트 브리지에 EAPoL 프로토콜을 사용하여 스위치 ID를 요청한다.
 - 루트 브리지는 스위치 ID 테이블에서 사용 가능한 스위치 ID를 EAPoL을 사용하여 해당 스위치로 전송하고, 스위치는 이 스위치 ID에 포트번호를 조합하여 해당 포트의 S-ID 레지스터에 저장한다.

첫 번째 경우 가입자 ID를 할당받기 위해 두 번째 경우에 비해 많은 데이터가 전송되어야 하므로, 인증서버를 사용하는 경우에는 두 번째 방법이 더 효율적이다. 세 번째 인증 서버가 없는 경우는 어떤 스위치가 루트 브리지가 될 지 알 수 없기 때문에, 루트 브리지의 역할을 하기 위해 모든 스위치가 스위치 ID 테이블을 가져야 한다. 하지만, 테이블의 크기는 10bit(스위치 ID 9bit, 사용유무 1bit)씩 512(2⁹)개의 엔트리로 약 5,120bit이기 때문에 크게 문제되지 않는다.

3.3 가입자 ID에 의한 QoS 관리

대역폭 할당은 스위치에서 스케줄러에 의해 이루어지는데, 스케줄러는 스위치로 들어오는 패킷들에 대해 우선순위를 정하여 공평하게 처리를 한다. 2계층에서 사용되는 기존의 스위치의 경우 포트별로 동일한 대역폭을 할당하고 있기 때문에 가입자단위의 균등한 대역폭을 제공해 줄 수 없다.

가입자 ID를 사용하게 되면, 스위치에 연결된 모든 가입자들은 가입자 ID를 하나씩 가지게 된다. 스케줄러는 가입자 ID를 기준으로 처리하기 때문에, 모든 가입자들은 기본적으로 동일한 대역폭의 서비스를 받을 수 있게 된다. 또한 추가적인 절차를 사용하면, 특정 가입자에 대한 특정 대역폭 할당으로의 확장도 가능하다. 서버 관리자가 특정 가입자에 대한 정보를 인증 서버에 등록해 놓으면, 인증서버는 이 특정 가입자 ID와 함께 대역폭 정보를 모든 스위치에 브로드캐스팅 해주면 된다. 스위치는 스케

줄링 하는 과정에서 특정 가입자 ID에 해당하는 대역폭 정보를 이용하면 된다. 하나의 2계층 망 구성에서 가입자별로 다른 대역폭을 사용하는 경우가 많지 않기 때문에 문제없이 적용할 수 있고, 기존의 방식에서 ID와 패스워드를 입력하는 번거로움이 없다는 점에서 효율적이다.

IV. 가입자 ID 사용에 따른 오버헤드

인증서버는 스위칭을 위해 MAC 주소와 IP주소 등을 저장하기 위한 공간을 가지고 있는데, 수천에서 많게는 수만개의 엔트리를 저장할 공간을 가지고 있다. 가입자 ID가 9bit의 스위치 ID와 7bit의 포트번호로 이루어진 경우, 인증서버는 10bit(스위치 ID 9bit, 사용유무 1bit)의 크기로 총 512(2⁹)개의 엔트리를 가져야 하므로 총 5,120bit의 테이블을 추가로 가지게 된다. 표 1은 가입자 관리를 위해 많이 사용되고 있는 레드백 네트워크사의 장비에서 MAC 정보를 저장하기 위한 테이블의 크기를 보여주고 있다. MAC 주소를 저장하는 테이블 외에 IP나 제어를 위한 하드웨어 저장 공간을 가지고 있다는 것을 고려할 때, 5,120bit의 추가는 하드웨어 구성에 크게 문제가 되지 않는다.

표 1. 하드웨어 오버헤드 비교

	Subscriber Awareness	MAC Address	Total (bit)	Overhead (%)
SE100SG	8,000	48 bit	384,000	0.013
SE400SG	32,000	48 bit	1,536,000	0.003
SE800SG	64,000	48 bit	3,072,000	0.001

스위치에서 발생하는 오버헤드를 고려해 보면, 스위치는 그림 7과 같이 S-ID를 저장하기 위한 레지스터를 각 포트마다 가지고 있다. 7bit의 포트번호로 이루어진 스위치를 고려하였을 때 포트의 수는 128개가 되며, 하나의 S-ID는 16bit로 이루어져 있으므로 총 2,048bit로 아주 작은 크기이기 때문에 전혀 문제되지 않는다.

V. 결론

현재 광대역통합망에 대한 연구가 계속되고 있고 네트워크의 규모가 커짐으로 인해 가입자에 대한 QoS 관리가 더욱 중요해 지고 있다. 3계층에서 모든 가입자를 관리를 하는 것은 메모리의 크기나 소

모전력 면에서 불가능 하다. 결국 2계층에서 QoS 관리가 필요하지만, 아직까지 이에 대한 논의는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 2계층에서 QoS 관리를 위한 방법을 최초로 제안하였다^{[1][6]}. 802.1ad 표준에서 추가된 S-VLAN 태그에 가입자 ID를 할당하고, 스위치는 이 가입자 ID를 사용하여 스케줄링을 함으로써 가입자 단위의 서비스가 가능하다. 하드웨어 오버헤드는 기존에 가지고 있는 테이블의 0.001% 미만으로 큰 문제가 되지 않는다.

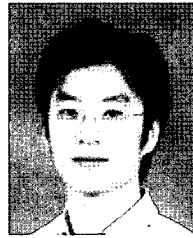
제안한 기법은 기존의 네트워크 구성과 비교하여 큰 오버헤드 없이 2계층에서 가입자 단위의 서비스를 가능하게 해 준다. 또한, 802.1Q, 802.1ad 표준을 그대로 따르고 있으며, 멀티서비스스위치의 기본 구조를 그대로 따르기 때문에, 기존의 네트워크나 광대역통합망에 문제없이 적용될 수 있다.

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] Redback Networks, "Redback SMS Platform Overview," *Redback Networks*, 2004.
- [3] Aggarwal, R., "OAM mechanisms in MPLS layer 2 transport networks", *Communications Magazine IEEE*, Volume 42, Issue 10, Page(s): 124-130, Oct. 2004.
- [4] Elangovan, A. "Efficient multicasting and broadcasting in layer 2 provider backbone networks", *Communications Magazine IEEE*, Volume 43, Page(s):166-170, Nov. 2005.
- [5] Jyh-Cheng Chen, Yu-Ping Wang, "Extensible authentication protocol (EAP) and IEEE 802.1x : tutorial and empirical experience", *Communications Magazine IEEE*, Volume 43, Page(s): suppl.26 - suppl.32, Dec. 2005.
- [6] 윤종호, 조재현 "이더넷 기반 전달망 기술과 전송품질보장을 위한 동기식 이더넷 기술", *한국통신학회지(정보통신)제22권 12호*, 2005.

권 태 현 (Tae-Hyun Kwon)

정회원



2005년 2월 경희대학교 전자공학과 학사
2005년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
<관심분야> 신호처리, 마이크로프로세서, SoC

박 종 수 (Jong-su Park)

정회원

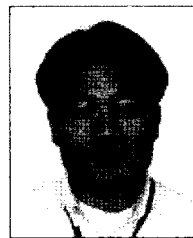


2002년 2월 경희대학교 전자공학과 학사
2004년 2월 경희대학교 전자공학과 석사
2004년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
<관심분야> 영상처리, 마이크로

프로세서, SoC

박 대 근 (Dae-Geun Park)

정회원



1997년 2월 대구대학교 전자계산학과 학사
1999년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
2000년 7월~현재 한국전자통신연구원 (ETRI)
<관심분야> 네트워크 자원관리,

인터넷 QoS

이 용 석 (Yong-Surk Lee)

정회원



1973년 2월 연세대학교 전기공학과 학사
1977년 2월 University of Michigan, Ann Arbor 석사
1981년 2월 University of Michigan, Ann Arbor 박사
1993년~현재 연세대학교 전기전

자공학과 교수

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