

BcN QoS 스위치 및 라우터 개발방향

이종현 | 한국전자통신연구원 광전달망기술팀
예병호 | 한국전자통신연구원 광전달망기술팀

정보통신 환경이 변화함에 따라 유선과 무선, 방송과 통신이 결합하는 새로운 사회가 출현할 것으로 예상된다. BcN 기술은 이러한 사회로 발전하기 위한 핵심적인 기술이다. 나아가 세계 최고수준의 광대역 통합서비스를 제공하고, 디지털 홈, 지능형 서비스로봇, 차세대 이동통신 등 IT 신산업의 성장기반을 조성하는 기본적인 역할을 할 것이다. 이번 특집을 통해 IT839전략의 3대 인프라 기술인 광대역 통신망의 표준 및 기술동향을 소개하고, BcN 관련 제품개발, 시장동향을 조망해 볼 수 있는 기회로 삼고자 한다.(편집자주)

광대역 통합망(BcN) 특집 순서 ●●●●

- BcN 기술 및 표준화 동향
- BcN 시범 사업 현황 및 추진방향
- BcN 품질관리센터 구축 및 운영 방안
- BcN 관련 법/제도 제정방향 및 비즈니스 모델
- BcN QoS 스위치 및 라우터 개발방향
- 소프트웨어 기술 및 개발방향

Abstract

We developed QoS based Optical Transport System for premium packet transport network.. Our system will reduce capital cost and operation cost. And also It generate QoS guaranteed L2 VPN service for enterprise. The key technologies are packet emulation for circuit traffic and Ethernet over SDH for packet traffic. We constructed testbed network in our laboratory.

1. 개요

최근 들어 정보통신 서비스가 음성위주의 서비스에 서 패킷 기반 서비스로 급속히 전환되고 있다. 따라서 기존의 전달망 기술은 서킷 기반의 음성 데이터를 전달하기에 적합한 기술이었는데 이제는 패킷 데이터를 효과적으로 전달하기 위한 기술로 바뀌고 있는 상황이다. 가입자 전송장비에서는 기존의 Fiber Loop Carrier 전송장비에서 Ethernet over SDH 기술을 활용한 MSPP(multi-Service Provisioning Platform)와 같은 전송장비로 대체되고 있는 실정이다. 따라서 가입자 회선이 집결하는 전화국의 운영국

에도 서킷 기반 데이터 뿐만 아니라 패킷 기반 데이터를 회선분배할 수 있는 시스템이 필요하게 되었다. 즉, 대역폭이 가변적인 패킷 데이터를 전달하기 위해서는 회선채널을 효과적으로 사용하기 위한 EoS(Ethernet over SDH) 기술이 사용되고 있다. 또한 패킷 기반의 전달망 기술은 현재는 Metro Ethernet기술을 사용하고 있지만, 아직 데이터 전달층에서의 QoS (bandwidth, Delay, Jitter등)가 보장되지 않아 Best Effort 수준의 서비스만 제공하고 있는 실정이다. 초고속 인터넷 서비스를 기반으로 하는 Best Effort형 서비스는 일반 가입자를 대상으로는 거의 포화상태에 이르러 통신사업자들은 새로운 서비스를 창출하고자



많은 노력을 하고 있다. 이러한 차세대 서비스 중 기업을 대상으로 하는 L2 VPN 서비스는 통신사업자에게 새로운 수익을 가져다 줄 것으로 기대된다. 그러나 기업을 대상으로 하는 L2 VPN 서비스를 제공하기 위해서는 데이터 전달층면에서의 QoS가 보장되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 QoS를 보장하는 L2 VPN 서비스를 제공할 수 있는 차세대 전달망 기술에 대해 기술하고자 한다.

2. 라우터망에서의 QoS 제어기술

인터넷서비스에서 사용해왔던 서비스 차별화 방안은 이용자기능별로 차별화된 자원을 할당하는 방식이 대부분이었다. 고급 이용자기능(Premium)에 대해서는 보다 큰 대역을 가진 회선을 공급하고 일반 이용자기능에 대해서는 적은 대역을 가진 회선을 공급하여, 이용량이 많을 경우 고급 이용자기능에 대해서는 병목현상이 발생하지 않게 하거나 일반 이용자기능에 비해 병목현상이 상대적으로 심하지 않도록 하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 각 이용자기능의 트래픽이 백본에서 합쳐진 후에는 서비스 차별화가 제공될 수 없는 것과, 동일 그룹 내에서의 이용자기능 서비스 차별화를 제공하지 못하는 근본적인 문제점을 갖고 있다. 실제로 이러한 문제때문에 대부분의 통신사업자들이 진정한 의미의 차별화된 서비스를 제공하지 못하고 있는 상황이다. 본 절에서는 현재까지 진행되고 있는 라우터망에서의 QoS 제어기술을 살펴본다.

1) IntServ(Integrated Service)

IntServ(Integrated Service)는 1990년대 초에 정의된 QoS 기술로서, End-to-End간 개별적인 플로우

에 대해 QoS를 정의하고 있다. 따라서 packet에 대한 분류, 큐잉, Admission Control 등과 같은 제어기능과, 네트워크에서 필요한 자원을 요청하고 유지하는 신호기능 등을 정의하고 있다. 그러나 IntServ는 플로우가 많이 증가할 경우 관리해야 할 상태정보가 증가하고 방대한 저장공간이 필요하며, 그것을 관리하기 위한 부하가 급격히 증가하는 등 확장성의 문제를 갖고 있어 큰 호응을 얻지 못했다. [1][2]

2) DiffServ(Differentiated Services)

DiffServ는 IntServ에 비해 단순하며 따라서 보다 높은 확장성을 제공한다. IntServ는 개별적인 플로우에 대한 처리를 하는 반면 DiffServ는 트래픽을 몇 개의 통합된 플로우(aggregated flows)들로 분류하여 단순하게 처리할 수 있도록 한다. DiffServ에서는 네트워크의 종단에서 패킷에 대한 분류 및 표시(Marking) 등을 수행하고 코어에서는 큐잉 등 간단한 전달기능을 수행한다. DiffServ에서는 패킷에 대한 표시를 위해 Differentiated Service(DS) 필드를 정의하고 있다. DS필드를 DiffServ Code Point(DSCP)라고하며 IPv4 TOS 바이트의 처음 6개 비트, IPv6 Traffic Class 바이트의 처음 6개 비트 부분이다. 그리고 네트워크의 각 장비에서는 이 DSCP를 참조해 어떻게 패킷을 처리할지 결정하는데 이것을 PHB(Per Hop Behavior)라고 하며, DiffServ 워킹 그룹에서는 Default PHB, Expedited Forwarding(EF), Assured Forwarding(AF) 3개의 PHB를 정의하였다. Default PHB는 일반적인 best-effort forwarding, EF는 적은 손실, 적은 지연을 갖도록 한다. 그리고 AF에서는 트래픽을 4개로 분류하고 각각에 대한 자원할당 및 폐기 우선순위를 결정한다. [3][4]



따라서 패킷을 분류하고 표시를 한 후에 그것들에 대한 PHB를 적용함으로써, 그룹 단위의 COS(Class of Service) 서비스를 제공하지만 End-to-End QoS를 제공하지는 못하고 확장성이 IntServ에 비해 장점을 가지므로 네트워크에서 실질적으로 적용될 수 있을 구조이다.

(Connection Oriented)인 특성을 가질 수 있도록 한다. 따라서 라우팅 테이블에만 의존하기 보다는 관리 시스템이 판단하여 최상의 경로 혹은 여유가 있는 경로를 지정하여 트래픽을 전달할 수 있는 방법을 제공한다.

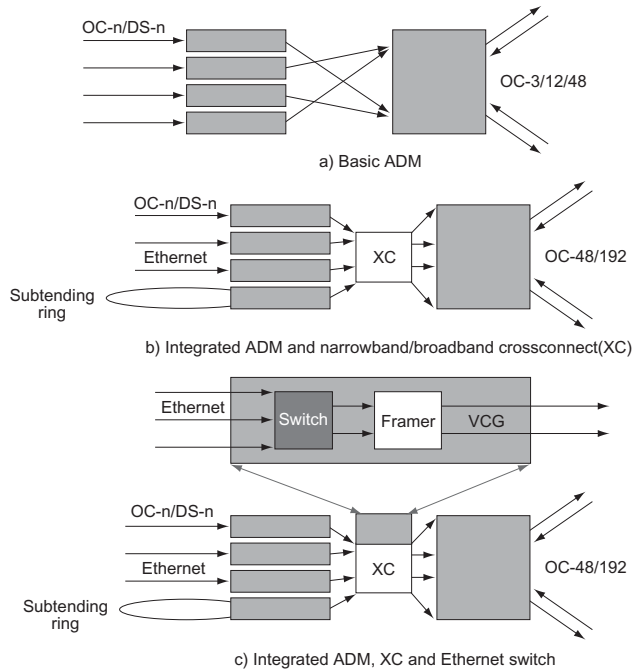
3) MPLS와 QoS

MPLS는 QoS 기술은 아니지만 QoS 서비스를 제공할 수 있는 중요한 수단으로 활용될 수 있다. MPLS는 패킷을 스위칭하고 전달하는 기술로서, IP packet은 MPLS 헤더의 label에 의해 경로(LSP : label switch path)를 따라 전달된다. MPLS는 경유해야 할 경로를 명시(explicit path)할 수 있는 기능, 즉 Traffic Engineering을 제공하는데, 이러한 MPLS의 Traffic Engineering은 IP 프로토콜에게 연결지향적

3. 차세대 QoS 보장 전달망 시스템

1) 전달망 진화과정

본 절에서는 지금까지의 TDM 위주의 전달망 구조에서 TDM 및 데이터를 통합된 전달망 구조로의 진화되는 과정에서 제안된 주요 기술사항을 살펴본다. SONET/SDH ADM 첫 세대의 경우에는 low-rate 입력들이 high-speed OC-N 신호로 aggregate되는 single-stage multiplexer/demultiplexer의 단순한



[그림 1] SONET/SDH ADM의 진화 과정

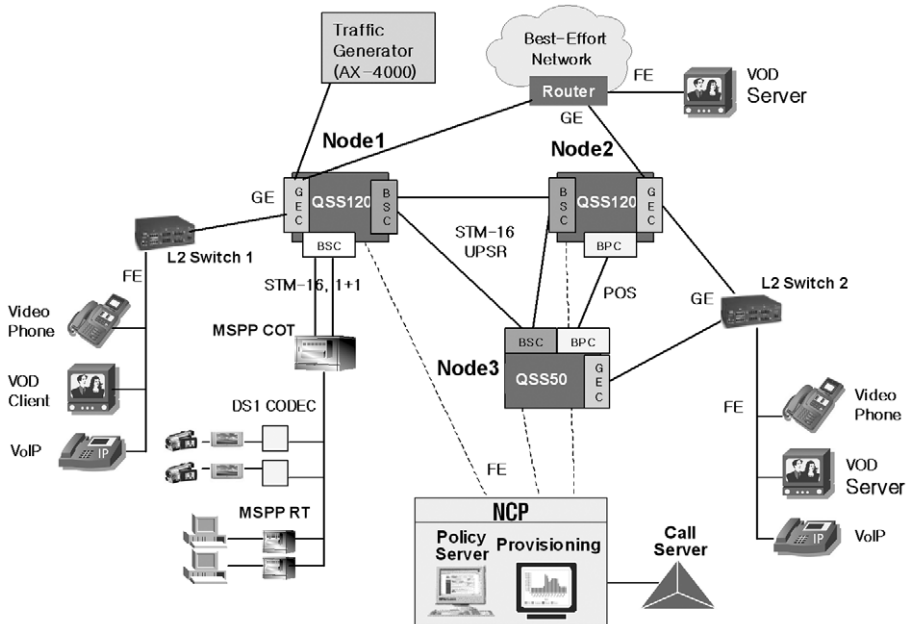


형태를 취하고 있다. SONET/SDH network element의 두 번째 세대는 중간에 crossconnect 모듈이 추가되었다. 이러한 구조는 carrier가 전달망의 edge에서 STS-1/STS-3(VC-3/VC-4) 스위칭 기능을 수행할 수 있게 하였고, distant hub 상에서의 그루밍을 위한 로컬 트래픽의 backhauling이 필요치 않게 되었다. 또한 이더넷 인터페이스가 추가되어 단순하면서도 transparent한 이더넷 트래픽의 매핑 기능이 가능하게 되었다. 마지막으로 SONET/SDH ADM의 최근의 발전형태는 이더넷 스위칭 기능과 프 로세싱 기능을 그대로 수용하여 VLAN tagging, user priority classification, local multiplexing, bridging 등의 기능이 가능하게 되었다. 또한 virtual concatenation 기술은 SONET/SDH 회선망에서 비 동기 데이터를 전달할 때 발생하는 granularity 문제를 개선시켰다.

2) QSS(QoS Service System) 개요

본 시스템은 SDH 기반 광 전송기술과 Ethernet 기반 패킷 전송기술을 한 개의 시스템에서 수용한다. 향후 서비스가 패킷 서비스 위주로 전환될 것으로 예상하여 메인 스위치 패브릭은 패킷 기반 스위치로서 서킷과 패킷 데이터에 대한 스위칭이 가능하도록 하였다.

주요 핵심기술은 서킷 데이터를 패킷 스위칭 패브릭으로 스위칭하기 위한 패킷 에뮬레이션 기술, 서킷 회선으로 패킷 데이터를 효과적으로 전송하기 위한 Ethernet over SDH 전송기술이다. 패킷 데이터의 경우 QoS를 보장하기 위한 TM(Traffic Management) 기술을 사용하였다. 시스템 용량은 160G 스위칭 용량으로 전화국의 운용국 내지 수용국에 설치 운용될 수 있도록 하였다. 기본적으로 SDH 기반의 선로 절체기능을 구현함으로써 신뢰성 있는 광 전달망을 구성할 수 있도록 하였다. 제공하는 서비스는 기업망을 대상으로



[그림 2] QSS 120 시스템을 이용한 테스트베드 구성



하는 QoS보장형 L2 VPN 서비스, 서킷 전용회선 서비스가 가능하여 현재 국내 통신사업자가 구성하고자 하는 QoS보장이 되는 Premium Packet Network 구성에 적합한 시스템이다.

본 시스템으로는 기존에 서킷 기반 전달망과 패킷 기반 전달망을 통합할 수 있게 함으로서 통신망 운용 비용을 절감할 수 있다. 개발한 시스템으로 실험실 내 그림 2와 같은 테스트베드를 구축하여 구현기술을 검증하였다.

3) QSS 시스템의 주요 기능

가. NG-SDH 기술

(1) GFP(Generic Framing Procedure)

현재 ITU-T Recommendation G.7041/T1.105에 표준화되어 있는 GFP는 다양한 패킷 기반의 페이로드들을 SONET/SDH 컨테이너에 실어서 전송시킬 수 있는 가장 보편화된 캡슐화 프로토콜이다.

(2) VCAT(Virtual Concatenation)

VCAT scheme은 X개의 독립적인 STS-N/VC-N 신호가 가상적인 concatenated group(VCG)를 형성하여 단일 STS-N/VC-N 신호의 X배 만큼의 전송용량을 제공해 줄 수 있도록 inverse multiplexing 방식으로 동작하는 기술이다. VCAT이 가진 가장 큰 장점은 SONET/SDH 전달망의 송신지에서 공통의 목적지로 향하는 STS-N/VC-N-Xv 그룹이 각기 독립적인 경로를 따라 전송되기 때문에 기존의 전달망을 그대로 활용할 수 있다는 점이다. 왜냐하면 전달망의 종단 지점간에 형성되는 가상적인 연결을 위해 기존의 SONET/SDH 시스템에 plug-in unit을 수용하기만 하면 가능하기 때문이다. 현재 VCAT 메커니즘은

ITU-T Recommendation G.707/T1.105에 표준화되어 있다.

(3) LCAS(Link Capacity Adjustment Scheme)

VCAT 메커니즘은 ITU-T G.7042/T1.105에 표준화된 LCAS 프로토콜에 의해 확장될 수 있다. 즉 LCAS 프로토콜을 통해 VCG 내의 개별적인 STSs/VCs 서비스의 추가와 제거가 유연하게 이루어진다. 독립적인 가상의 경로를 동적으로 제어함으로써, LCAS는 서비스 제공자가 사용자에게 제공하는 resiliency 성능을 개선시키게 된다. VCAT과 LCAS의 조합은 bandwidth granularity 문제를 해결하기 때문에 SONET/SDH 전달망에서 대역폭의 효율성을 증대시키기 위해 중요하게 쓰이고 있다.

나. QoS 제어기술

기존의 라우터 망에서는 에지나 코어망에서 트래픽의 폭주(congestion)시 CAC(Call Admission Control) 부재로 인해 UDP 패킷 등의 유실(loss)이 발생하며, 거리가 늘어남에 따라 TCP 처리량(throughput)이 제한되고, 부하로 인한 지연 편차(delay variance)가 발생한다. 또한 긴급 보호(emergency protection)에 대한 선취방식(preemption) 등이 없다. 또한 효율적인 부하균형(load balancing)을 위해 트래픽을 인지(traffic-aware)한 라우팅을 하지 못하며, 장애 복구 시간이 길며, 과도한 트래픽 엔지니어링이 요구된다.

QSS 시스템에서는 송신, 수신 IP 주소, 포트 번호 및 프로토콜로 구분되는 개별적인 플로우 단위로 제어가 가능하며 TCP및 UDP와 같은 서비스를 대상으로 CAC를 수행한다. 여기서 플로우의 유연성 있게 유형별로 분류 가능하며, 플로우의 상태정보는 트래픽의



포괄적인 이력(extensive history)을 제공한다. 또한 Flow 정보의 특성화로 DOS(deny of service)나 효율적인 트레이싱(tracing)을 통해 복잡한 security를 위한 framework 을 제공한다.

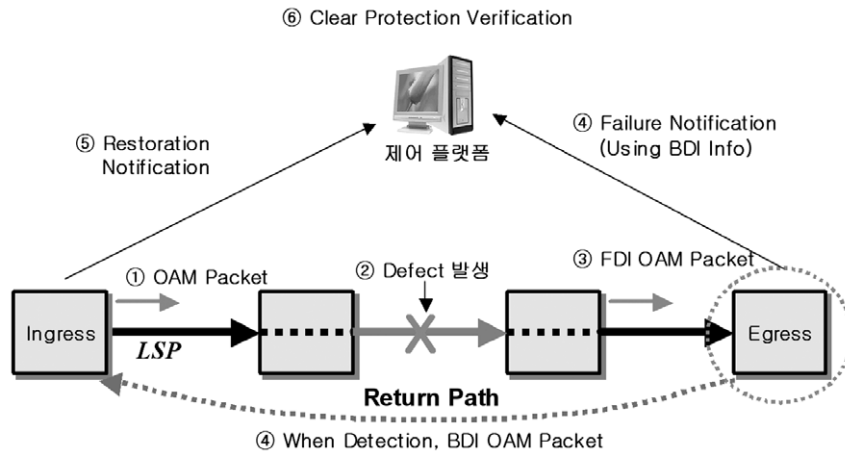
다. 중앙 집중형 제어방식

라우터를 기반으로 한 IP 망에서는 시그널링을 통한 망 구성정보, 자원예약, 경로설정 등의 일련의 과정이 진행되지만 본 QSS 시스템에서는 시스템 내의 프로토콜 기능을 최소화하고 이러한 제어기능을 중앙집중형의 제어 플랫폼을 통해 수행하도록 한다. 기존 노드 중심의 시그널링 방식에서는 서비스 경로생성 시 노드간의 시그널링 프로토콜에 의존하며, 도메인 간의 연동, 서비스별 확장성 및 유연성이 부족하며, 서비스 설정시에 정확한 자원상태 파악의 어려움과 신규 서비스 개통 시 타 서비스에 미치는 영향이 발생할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 반면 본 중앙집중형 제어방식에서는 멀티미디어 서비스 등 기존 IP 망에서 QoS가 보장되어야 하는 서비스에 대하여 End-to-End 간 확실한 경로를 제공하고 해당 서비스에 대해서는 QoS를

보장한다. 아울러 이러한 중앙집중형 제어방식을 통해 네트워크의 대규모화가 되더라도 경로상태 관리, 네트워크 장애 시 보호절체 기능, SDH 및 MPLS OAM 기능을 이용하여 서비스의 가용도 및 안정성을 보장한다. 또한 네트워크의 운용측면에서도 사업자의 정책, 네트워크의 상황에 따라 유연한 망 운용, 네트워크의 상황에 따라 집중적이며, 동적인 운용제어가 가능한 방법을 제공한다. 이러한 제반 사항들은 서비스 설정에 대한 정확한 자원제어, 자원의 가용여부 판단의 용이성, 신속한 서비스 활성화를 통해 BcN 환경에서의 다양한 품질보장 서비스에 대한 통합제어가 가능한 방식을 제공한다.

라. OAM 기능

국제표준화 기구에서는 OAM 기능을 제공하기 위한 표준화활동이 활발하다. MPLS OAM에 대한 연구는 ITU-T(International Telecommunication Unit), IETF(Internet Engineering Task Forth) 등에서 활발히 연구 중에 있다. OAM 관련 표준화는 계속 진행 중인 상황이며 각각의 표준화 기구에서 정의



[그림 3] MPLS OAM 처리 구조

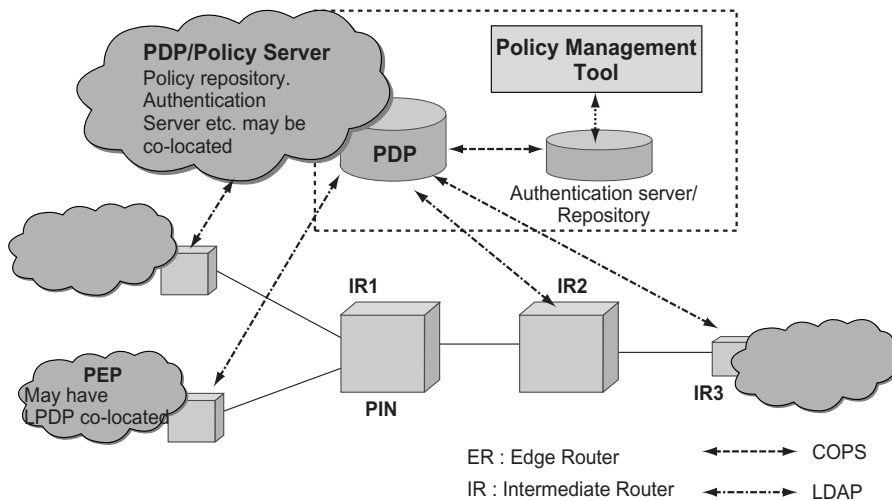


하는 OAM 목적이나 영역은 매우 다양한 현실이다. 또한 전송망별 제공되는 OAM 기능은 잘 정의된 편이나 여러 가지 전송망을 지나는 종단 대 종단의 OAM 기능보장은 되고 있지 않은 현실이다. 그러나 시스템에서 QoS를 제공하기 위해서는 OAM기능이 필수적으로 고려되어야 한다. Network OAM은 어떤 결함이나 성능감소를 감지하여 문제해결을 위한 동작을 취함으로써 서비스 수행능력을 유지하고 보장하는 것을 말한다. 즉, 사용자에게 서비스를 제공하는 중 문제가 발생하면 운영자와 사용자에게 자동으로 보고(Reporting)하고 국지화(Localization)시키며 문제해결을 위한 상응하는 행위를 취해 복구(Recovery)하는 일련의 메커니즘을 말한다. QSS 시스템에서는 MPLS에서 설정하는 LSP에 대한 장애감시 및 경보발생 기능, Loss, Jitter, Delay에 대한 성능 파라미터의 추출 및 보고기능을 포함하며, 제어 플랫폼을 통한 양방향 경로 관리를 통해 단방향 장애시 장애를 수신할 수 있는 BDI(Backward Defect Indication) 경로를 보장한다.

4) IP망에서의 QoS 제어

IETF(Internet Engineering Task Force)는 종단간 QoS의 한 방법으로서 정책(policy)기반의 네트워킹을 소개하고 있다. 여기서 “policy”란, 네트워크의 관리규범에 있어서 네트워크 자원과 서비스 접속에 관한 통합된 규칙이라고 할 수 있다. 각각 다른 관점에서의 policy를 (그림 4)에서 표현하고 있다.

구현적인 입장에서 QoS policy 시스템을 보았을 때 중앙집중형과 분산형으로 나누어서 생각할 수 있다. 중앙집중형은 하나의 policy server나 PDP 그리고 저장장치인 Repository와 인증 서버를 둔다. 이는 정책의 관리와 적용에 있어서는 장점이 있을 수 있으나 중앙의 PDP에게 부하가 크다는 단점이 있다. 분산형은 추가적인 PDP(Policy Decision Point)와 모든 PEP(Policy Enforcement Point)는 LPDP(local PDP)를 가지고 있다. 이러한 분산형의 방법을 통해 중앙집중형이 가지는 단점인 오버헤드를 해결할 수 있다. 이러한 구조를 바탕으로 현재 진행되고 있는 연구기관 및 프로젝트는 다음과 같다.[5][6]



[그림 4] 일반적인 QoS 정책구조



가. Aquila[7]

AQUILA는 인터넷에서의 cost-effective와 scalable를 지원하기 위한 QoS 제공 아키텍처를 정의하고 평가하고 있다. 프로젝트의 주된 목적은 다음과 같다. Dynamic end-to-end QoS를 제어하기 위하여 IP network의 Internet telephony, premium web surfing, video streaming 같은 QoS에 민감한 애플리케이션에 대한 dynamic end-to-end QoS 제공을 목적으로 한다. 또한 능동 자원관리나 정적 자원 분배도 고려되고 있다. 또한 시장상황과 기술동향에 관한 분석을 통하여 유저와 서비스 제공자, 양자에 모두 만족할만한 QoS Solution을 제공하기 위해 시장 상황과 기술동향에 관한 분석을 꾸준히 시행한다. QoS architecture 측면에서는 Scalable QoS를 제공하기 위한 extra layer를 포함하면서, 동시에 기존 망에서의 확장이 용이한 QoS architecture의 디자인을 제안하고 Dynamic resource와 admission control을 위해 DiffServ를 개량한다. 최종적으로는 위에 열거한 사항들의 평가를 위한 분석 툴의 prototype을 개발하는데 있다.

나. TEQUILA[8]

TEQUILA 프로젝트의 목적은 서비스 정의를 연구하고 Traffic Engineering Tool을 통한 end-to-end QoS의 획득에 있다. 기술영역에 대한 평가는 시뮬레이션과 Prototype의 실험적 결과를 통해 수행된다. TEQUILA 프로젝트가 지향하는 핵심적인 개발목적은 SLS(Service Level Specifications)에 대한 협상과 감시에 있다.

다. Qbone[9]

학습 및 연구용 네트워킹과 진보된 프로그램들을 개발하기 위해 100여 개 이상의 미국 대학들이 참여한 협동 작업인 Internet2는 차등서비스 기술을 시험할 수 있는 테스트베드인 Qbone을 구축하고, 종단간 QoS를 보장하기 위해 자원을 관리하고 제어하는 대역폭 브로커에 대한 연구를 수행하고 있다.

라. CADENUS[10]

CADENUS(Creation And Deployment of End-User Services in Premium IP Networks)은 premium IP 네트워크를 기반으로 사용자에게 QoS가 보장된 서비스를 제공하기 위해 creation, configuration, provision에 관한 솔루션을 위한 프로젝트이다.

마. MSF[11]

MSF(Multi-service switching forum)에서는 VoIP 서비스의 QoS에 주안점을 두어, toll quality VoIP를 구현할 기반으로 framework solution을 제안한다. VoIP QoS를 위한 framework solution의 핵심은 DiffServ QoS 메커니즘을 사용하기 위해서는 네트워크로 들어오고 나가는 voice traffic의 입력지점과 출력지점이 call agent에 의해서 명확히 식별되어야 한다는 것이다. 그렇지 않으면 가용한 네트워크의 용량을 고려한 어떤 결정도 내릴 수 없다. MSF 모델을 확장하기 위하여 call control layer에서 네트워크간 또는 네트워크 내부의 인터페이스를 제공한다. 이는 한 네트워크상에서 서로 다른 두 call agent가 traffic을 hands off할 때 반드시 SIP signaling을



통과시켜야 하고 두 call agent는 반드시 traffic의 물리적 출입지점을 고려한 결정을 내려야 한다는 것을 내포한다.

4. 결론

본 논문에서는 IP 망에서의 QoS 제어기술에 대한 현황과 패킷 서비스와 서킷 서비스를 동시에 처리하는 QoS 보장형 차세대 스위칭 시스템을 소개 하였다. 이 시스템이 기존 통신망에 적용되면 통신사업자는 기업을 대상으로 하는 L2 VPN 서비스를 효과적으로 제공할 수 있을 뿐만 아니라 향후 BcN 망에서 도출될 수 있는 다양한 서비스를 효과적으로 수용할 수 있는 시스템이 될 수 있으며, 사업자 측면에서는 망 설치비용 및 운용비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] R. Braden and et al., 'Integrated Services in the Internet Architecture : An Overview', IETF RFC 1633.
- [2] J. Wroclawski, 'The Use of RSVP with IETF Integrated Services', RFC 2210
- [3] 'An Architecture for Differentiated Services', IETF RFC2475.
- [4] Janusz Gozdecki, Andrzej Jajszczyk, et al., "Quality of Service Terminology in IP Networks," IEEE Communications Magazine, Jan. 2003, pp.153-159.
- [5] B. Moore, E. Elleson, et al, "Policy Core Information Model-Version 1 Specification - RFC 3060," IETF, Feb. 2001
- [6] A. Westerinen, J. Schnizlein, et al., " Terminology for Policy-Based Management-RFC 3198," IETF, Nov. 2001
- [7] Tomas Engel, Herman Granzer, et al., "AQUILA : Adaptive Resource Control for QoS Using an IP-Based Layered Architecture," IEEE Communications Magazine, Jan. 2003, pp.46-53
- [8] Eleni Mykoniati, Danny Godiris, et al., "Admission Control for Providing QoS in DiffServ IP Networks : The TEQUILA Approach," IEEE Communications Magazine, Jan. 2003, pp.38-44
- [9] Giovanni Cortese, Roberto Flutem, et al.," CADENUS: Creation and Deployment of End-User Services in Premium IP Networks," IEEE Communications Magazine, Jan. 2003, pp.54-60.
- [10] <http://qbone.internet2.edu/architecture>
- [11] <http://www.msforum.org> 