

네트워크 가상화 기술 동향

Technical Trends of Network Virtualization

네트워크 기술의 미래 전망 특집

강현주 (H.J. Kang) 옴니플로우시스템연구팀 선임연구원
 박혜숙 (H.S. Park) 옴니플로우시스템연구팀 책임연구원
 안병준 (B.J. Ahn) 옴니플로우시스템연구팀 팀장
 이순석 (S.S. Lee) 미래네트워크연구부 부장

목 차

-
- I. 서론
 - II. VPN 기술
 - III. 네트워크 가상화 기술
 - IV. 결론

네트워크 가상화가 과거 공중망을 사설망으로 사용할 수 있도록 가상화시켜 보안성과 함께 망을 분리하는 개념으로 쓰이다가 최근 클라우드 컴퓨팅과 미래 인터넷 기술의 등장으로 모든 자원을 가상화하여 사용자들에게는 편의를, 비즈니스 측면에서는 인프라와 서비스 제공자의 분리를 통한 새로운 마켓 창출을 위한 주요한 기술로 요구되고 있다. 이에 따라, 본 고에서는 현재까지 가상 네트워크망에서 각 서비스 기술이 요구하는 가상화와 네트워크 가상화에 대해 알아보고, 통신 장비를 개발하는 입장에서 네트워크 가상화를 위해 진행되는 일과 앞으로 진행될 방향을 다룬다.

I. 서론

최근 네트워크 가상화라는 개념이 공중망을 가상화 하여 보안을 제공하는 네트워크 차원의 노력에서 미래 인터넷(Future Internet) 기술을 위한 네트워크 인프라(infrastructure)에서 지원해 줄 수 있는 측면으로 다시 한번 대두되고 있다. 또한, 단말들이 네트워크에 모두 연결되어 원하는 서비스를 네트워크를 통해 지원받거나 대용량 작업이 필요시 서버팜(server farm)을 구성하여, 물리적인 위치에 상관없이 서비스를 제공할 수 있는 클라우드 컴퓨팅(cloud computing) 기술에서도 가상적인 네트워크에 대한 요구사항이 있다[1].

네트워크 가상화는 물리적 인프라와 기존의 인터넷 서비스 제공자(ISP)를 분리할 수 있는 기초적인 기술로서 MVNO와 같이 새로운 서비스를 창출하고 시장을 확대시킬 수 있는 바탕이 된다[1]. 이미 MPLS VPN 기술과 같이 가상 사설망을 통한 서비스가 성공적으로 이용되고 있는 현실에서 클라우드 컴퓨팅이나 미래 인터넷에서 요구하는 가상화 기술은 비용 절감 측면보다는 새로운 서비스 창출과 시장 개척 측면에서 다루어지고 있는 것이 사실이다.

클라우드 컴퓨팅이 네트워크 가상화를 L2 layer를 기반으로 네트워크 망을 만들어 운용하는 데서 L3 이동성 기술을 적용하는 방향으로 발전하고 있다면, 미래 인터넷을 위해서 장비업체는 물리적으로 네트워크 장비를 여러 대 설치하는 데서, 하나의 장비가 여러 네트워크로 만들어 질 수 있도록 제어 평면과 데이터 평면, 또한 서비스 평면까지 분리하여 유연하고 확장성 있게 네트워크가 만들어지는 방향으로 진행하고 있다 할 수 있다[2]. 클라우드 컴퓨팅에서 요구하는 네트워크의 가장 큰 문제점이 품질보장(QoS)

인데, 네트워크 가상화와 함께 각 가상 네트워크별로 물리적인 독립성을 보장하고, best effort와 분리된 QoS 정책을 지원해 주는 장비가 있다면, 클라우드 컴퓨팅의 도입이 가속화 될 것이다.

기업에서도 private cloud를 만들어 운용하여, 데이터의 중복 저장 방지 및 사업장 내 애플리케이션 일괄 관리가 늘어나고 있다. 클라우드 컴퓨팅에서는 지금까지 대부분 서버나 스토리지와 같은 호스트 가상화의 연구가 활발히 진행되어 있으며, 대부분 L2 스위치 계층의 가상화 솔루션을 이용하여 가상 네트워크를 구성하고 있다.

미래 인터넷에서 이야기하는 네트워크 가상화는 호스트 가상화, 링크 가상화, 라우터 가상화, 스위치 가상화가 있는데[3], 본 고에서는 각 가상화에 대한 개념적인 소개와 함께, 라우터 가상화를 위해 노력하고 있는 부분을 포함하고 있다. 즉 미래의 다양한 프로토콜과 미디어를 서로 겹쳐 가상 네트워크를 구축하고, 서비스 제공자가 원하는 방향으로 인프라 제공자로부터 망을 자유자재로 구성하여 특화된 서비스 제공이 가능하다. 이러한 구조를 지원하기 위해서 네트워크 장비는 기존의 [4]에서 보여주는 logical router 개념에서 한 단계 진보한 자동 관리기능과 virtual routing protocol과 정책, 네트워크뿐만 아니라 응용 서비스에 대한 인지를 통한 맞춤형 데이터 전송이 가능해야 한다.

본 고에서는 기존의 가상 네트워크의 등장과 기술에 대해서 알아보고, 최근 이슈화되는 클라우드 컴퓨팅이나 미래 인터넷에서 언급하는 네트워크 가상화 측면에서의 동향을 분석한다. 또한, 앞에서 언급된 두 가지 큰 기술 동향 내에서 네트워크 장비가 네트워크 가상화를 지원하기 위한 요구사항과 진행 방향 그리고 고려되어야 할 점과 함께 현재 진행중인 품질보장

을 위한 플로 기반 라우터의 장점과 앞으로 진행될 방향에 대해서 언급한다.

II. VPN 기술

1. VLAN

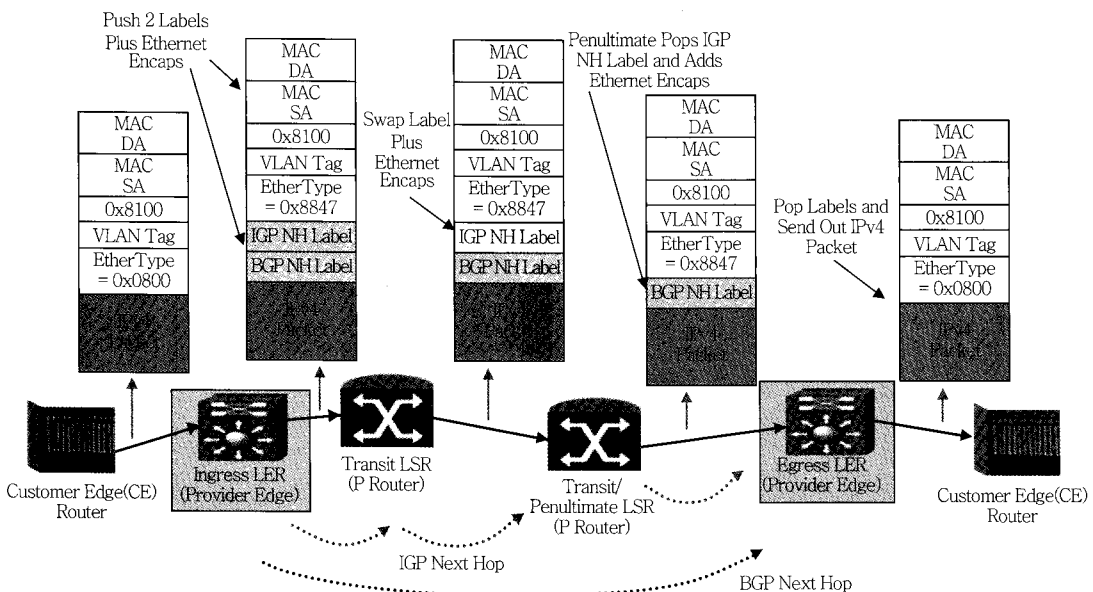
VLAN은 MAC 헤더 앞에 VLAN ID를 사용하여 스위치나 라우터에서 물리적인 연결을 기반으로 일괄적으로 전송하는 것이 아니라 같은 물리적 포트를 이용하더라도 논리적으로 다른 네트워크 관리를 받으며, 프레임 전달할 수 있는 기술이다. VLAN은 Ethernet 환경에서 이용하고, 비용이 싸고 이기종간 장비 호환성이 뛰어난 반면, VLAN ID가 12비트로 4,096개의 VLAN만 지원한다는 단점과 장애에 대한 수렴 시간이 길어 트래픽 손실이 많은 문제점이 있다.

2. MPLS L3VPN

MPLS 기반의 L3VPN 기술은 보안이나 확장성

면에서 성공한 기술로 볼 수 있다. VPN은 물리적으로 독립된 네트워크를 이용하는 사실망을 이용할 경우 발생하게 되는 비용측면의 문제점을 해결하기 위해 등장한 기술인데, 공중망을 가상적인 사실망으로 이용할 수 있도록 하였다.

보안 문제와 서비스 품질 문제를 안고 있었지만, MPLS 기술이 합쳐지면서 어느 정도 문제를 해결할 수 있게 되었다. MPLS L3VPN 기술은 VPN label을 이용하여 가상 네트워크 망을 나누고, PE 라우터에서 VRF 테이블을 관리하여, 하나의 라우터에서 여러 개의 포워딩 테이블을 두는 기술이다. 따라서 CE에서 패킷이 들어오면, destination 주소뿐만 아니라 VPN label을 이용하여 VRF 테이블을 룩업(look up)해서 MPLS 레이블을 붙여 포워딩 한다. 이 기술은 실제로 본사와 지사를 연결하는 망에서 사용하고 있으며, 논리적인 망 분리에 이용된다. 망의 분리를 라우터의 측면에서는 포워딩 테이블의 분리로 볼 수 있으나, 서로간 간섭이 발생할 수 있으므로 진정한 의미의 가상 네트워크를 위한 망분리로 볼 수 없다.



(그림 1) MPLS L3VPN 동작 예

(그림 1)은 CE에서 들어온 패킷이 PE에서 VRF 룩업을 거친 후, BGP label(VPN label)과 MPLS label을 push 해서 LSR를 지나 최종 MPLS LER에서 레이블 pop 해서 상대방 CE에 패킷이 도달하는 흐름을 보여준다.

3. 상위 계층 VPN

VPN에서 가장 많이 사용하는 프로토콜은 IP-Sec인데, 인증헤더(AH)와 송신자와의 인증과 데이터 암호화를 함께 지원하는 ESP, 키교환을 위한 IKE 등을 이용해 서비스를 제공한다. Layer 3 기술이지만 IPSec 클라이언트 프로그램을 설치해서 이용해야 하는 다소 복잡한 구조를 가지고 있지만, 애플리케이션 수정 없이 VPN을 제공할 수 있다는 장점 때문에 많이 이용되고 있다.

SSL VPN 기술은 Layer 5 기술이라고 하는데, 암호화된 웹 브라우징을 제공하기 위해 만든 프로토콜로 기존 커널 수정 없이 웹 브라우저만 있으면 사용이 가능하므로 이용이 용이하다는 장점이 있다. 하지만 웹서비스를 통하는 서비스에만 가능하다는 제약사항이 있다.

III. 네트워크 가상화 기술

1. 네트워크 가상화 기술

가. 호스트 가상화

호스트 가상화는 VMWare, Xen, OpenVZ, Linux VServer 등과 같은 가상화 소프트웨어를 이용하여 네트워크의 호스트를 만들어 준다. 호스트 가상화는 전가상화와 반가상화, OS 기반 가상화가 있는데, VMWare로 대표되는 전가상화는 하드웨어까지 에뮬레이션 해야 하므로 성능저하가 가장

큰 단점이고, 반가상화는 Xen과 같이 virtual machine과 guestOS 사이에서 동작해서 커널과 드라이버 수정을 요구한다. OS 기반 가상화는 컨테이너 기반 가상화라고도 하는데, OpenVZ와 Linux VServer가 여기에 속하며, 하드웨어를 효율적으로 이용한다는 장점이 있지만, 슬리버 OS가 시스템 OS에 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다[5].

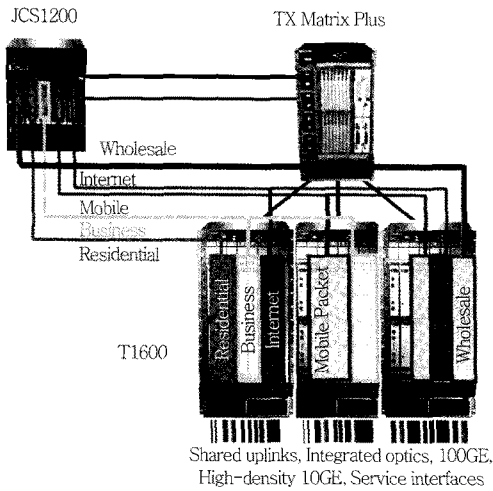
나. 링크 가상화

링크 가상화는 네트워크 인터페이스 가상화로 볼 수 있는데, 기존에 하나의 물리적 인터페이스에 하나의 링크로만 보게 하는 것은 자원의 낭비뿐만 아니라 네트워크를 유연하게 만드는 방해 요소가 된다. 따라서 VLAN 기술과 같이 하나의 인터페이스를 여러 개의 링크로 보이도록 하는 기술 이외에, 물리적인 인터페이스에 가상적 MAC 주소를 매핑할 수 있도록 하여 여러 개의 가상 네트워크에 복수적으로 이용가능하도록 하는 것이다. 특히 가상 인터페이스 스위치가 시스템의 내/외부에 존재하면서 동적으로 가상 네트워크를 구축했다가 해제할 수 있는 관리 기술이 포함된다.

현재까지 나온 링크 가상화 기술은 서버 가상화와 호스트 가상화의 NIC 카드에 해당하는 RiceNIC와 Cisco UCS M81KR VIC가 있고 소프트웨어적인 네트워크 인터페이스 가상화를 지원하는 기술로 Xen과 VMware, Linux VServer, Crossbow, Trellis's link virtualization 기술(EGRE)이 있다[5].

다. 라우터 가상화

라우터 가상화는 물리적 라우터의 자원을 분리하여 다수의 가상 라우터를 구성하는 기술이다. 즉, Juniper의 logical router와 같이 blade를 서비스별로 나누어 이용한다거나[5], Cisco의 hardware-



(그림 2) Juniper Logical Router Architecture[7]

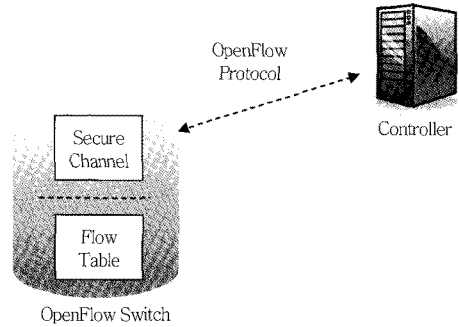
isolated virtual router나 software isolated virtual router가 있다[6]. 물리적으로 하나의 라우터를 shelf나 slot(line card)별로 서로 다른 virtual network를 만들어서 구동하거나 VPN 기술의 VRF 테이블 운용을 통한 가상화도 가능하다. 하지만 VPN 기술을 이용할 경우 fault 및 error에 대해서 고립화가 불가능하다는 단점이 있다.

라우터 가상화는 물리적 라우터를 논리적으로 이용하기 위해 라우팅 프로토콜을 virtual network별로 구동할 수도 있고, 해당 라우팅 정보가 라우터에 설정되고, programmability와 isolation, security, scalability를 갖도록 구현되는 것이 중요하다.

(그림 2)는 Juniper에서 logical router를 만들기 위해 라우팅과 시스템 제어 및 네트워크 관리를 하는 control card 부분을 JCS1200으로 빼고 매트릭스 구조로 각 물리적 자원을 비즈니스 유닛 단위로 나누며 각각 포워딩 라인카드에 특정 서비스를 하도록 배분하였다.

라. 스위치 가상화

라우터 가상화의 data plane 가상화와 유사한데,



(그림 3) OpenFlow Switch 기술[8]

OpenFlow switch와 같이 data plane과 control plane, service plane을 구별하여 동적으로 virtual network 구축 및 해제가 가능하도록 지원해주면서 programmable한 기능을 가지고 있다.

(그림 3)은 OpenFlow switch에서 data plane과 control plane을 나누어 data plane에서는 controller에 의해 만들어진 flow table을 보고 데이터를 전달하고 들어온 프레임과 flow table을 비교하여 해당 정보가 없을 경우 secure channel을 통해 controller로 복사 또는 전달을 통해 프레임에 대한 flow table을 만들어 전송하는 방법을 이용한다.

스위치 가상화를 이용하게 되면, 클라우드 컴퓨팅이나 미래 인터넷에서 이야기하는 동적인 네트워크 혹은 서비스 제공자의 요구에 따라 자동으로 스위치의 동작을 변경할 수 있다.

2. 클라우드 컴퓨팅에서의 네트워크 가상화 기술

클라우드 컴퓨팅은 서로 다른 물리적인 위치에 존재하는 컴퓨터 리소스들을 가상화 기술로 통합하여 제공하는 기술이다. 클라우드 컴퓨팅 네트워크(CCN)는 기존 콘텐츠 전송 네트워크인 CDN 서비스에 클라우드 컴퓨팅 개념을 도입하여, 고속의 네트워크 자원을 이용한 가상 네트워크로 통합하여 만들어진 가상 네트워크에 사용자가 요청하는 서비스를 제공

한다.

클라우드 컴퓨팅은 서버 가상화와 스토리지 가상화, 네트워크 가상화, 애플리케이션 가상화를 요구한다. 이 중 네트워크 가상화는 지역성을 넘어 확장성과 클라우드와 사용자를 연결하는 중요한 개념으로 견고한 연결성을 항상 제공해주는 것이 필요하다. 또한 필요한 서버나 스토리지가 동적으로 구성되었다가 해제되므로 그에 따른 네트워크 연결성 또한 유연하게 대처할 수 있어야 하는 요구사항이 있다.

항시 연결성을 제공하고 동적인 관리가 가능하도록 하기 위해서는 분산된 방식보다는 중앙 집중적인 관리 시스템으로 구현되는 것이 필요하다. 따라서 클라우드 컴퓨팅에서는 data plane과 control plane을 분리해서 control plane을 중앙에 두는 형태를 취해서 제어, 모니터링 및 구성 관리한다.

클라우드 컴퓨팅을 지원하는 데 있어서 네트워크 요구사항 중 아직까지 해결되어야 할 부분은 QoS를

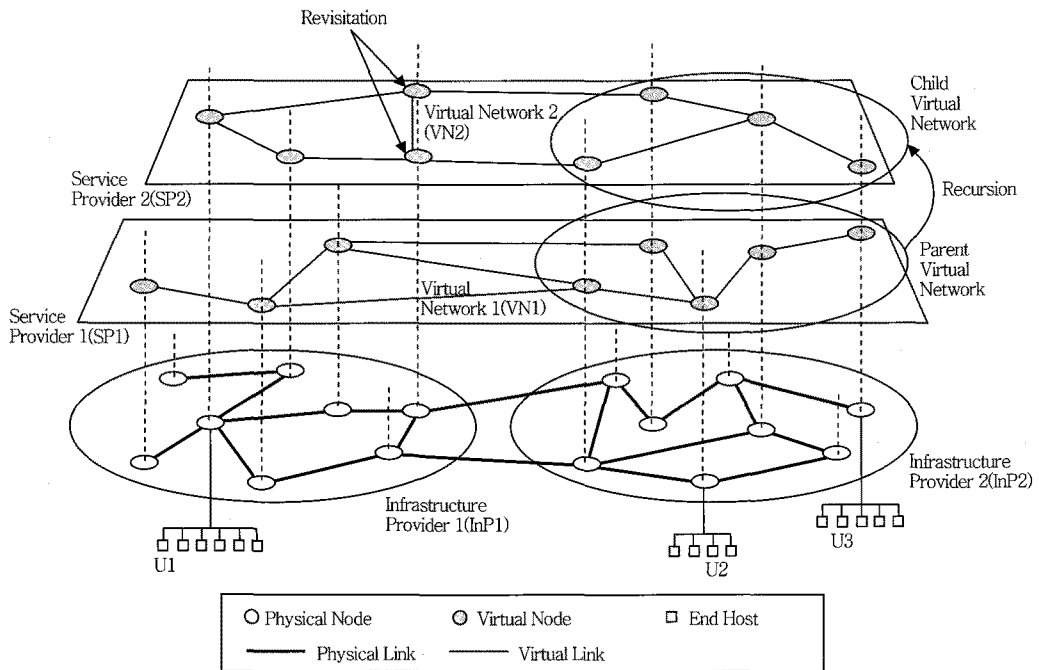
제공하는 것이다. 클라우드 컴퓨팅은 실시간 네트워크를 이용하므로 진정한 thin-client를 만들기 위해서는 보안성과 함께 QoS 보장이 무엇보다 네트워크에 요구된다[9].

3. 미래 인터넷에서의 네트워크 가상화 기술

가. 네트워크 구조에 대한 요구사항

네트워크 구조 측면에서 미래 인터넷의 네트워크는 다수의 가상 네트워크가 공존해야 하며, 하나의 노드가 여러 개의 가상 네트워크에 속할 수 있어야 한다. 또한 가상 네트워크 환경에 있는 노드는 자동으로 parent 가상 네트워크를 상속해야 한다. 이때 하나의 노드가 하나의 가상 네트워크에 두 번 이상 쓰일 수도 있는 특징을 가질 수도 있다.

비즈니스 측면에서는 인프라 제공자와 서비스 제공자가 구별되어야 하며, 서비스 제공자는 여러 개의 인프라 제공자로부터 하나의 가상 네트워크 형성이 가



(그림 4) Network Virtualization Environment[10]

능해야 한다. 마찬가지로 사용자는 여러 개의 서비스 제공자로부터 하나의 서비스를 받는 것도 가능하다.

(그림 4)는 미래 인터넷에서 그리는 네트워크 가상 환경이다. 물리적인 인프라를 제공하는 인프라 제공자(InP)와 서비스 제공자(service provider)를 나누어 가상 네트워크를 만들 수 있고, 가상 네트워크는 서비스 제공자별로 꾸밀 수 있으며, 다수의 인프라 제공자로부터 물리적 네트워크를 제공받을 수 있다. 또한 각 단말 사용자(end user)는 서비스에 따라 다수 개의 가상 네트워크를 이용할 수 있다.

나. 네트워크 가상화 기능적 요구사항[10]

- (1) Flexibility: 서비스 제공자가 자유롭게 네트워크를 만들고 다양한 서비스를 제공할 수 있도록 유연해야 하며, source routing에 대한 제공이 가능해야 한다.
- (2) Manageability: 인프라 제공자와 서비스 제공자를 구별하고 가상 네트워크를 동적으로 제공할 수 있기 위해서는 네트워크 관리가 가능하도록 모듈화되어 있어야 한다.
- (3) Scalability: 성능에 문제를 주지 않으면서, 서비스 제공자의 요구사항을 받아 들이고, 대처 가능해야 하며, 가상 네트워크의 숫자를 자유롭게 늘릴 수 있어야 한다.
- (4) Isolation: fault-tolerance, security, privacy가 공존하면서 가상 네트워크 간에는 고립화가 되어 있어야 한다. 따라서 중간에 발생할 수 있는 에러나 구현 에러에 대한 확산을 막을 수 있어야 한다.
- (5) Stability/Convergence: 에러나 네트워크를 잘못 구성한 것이 공존하는 가상 네트워크에 영향을 미쳐 불안해질 수 있는데, 인프라 제공자는 절대적으로 라우팅 변경과 불안 요소를 제거하고

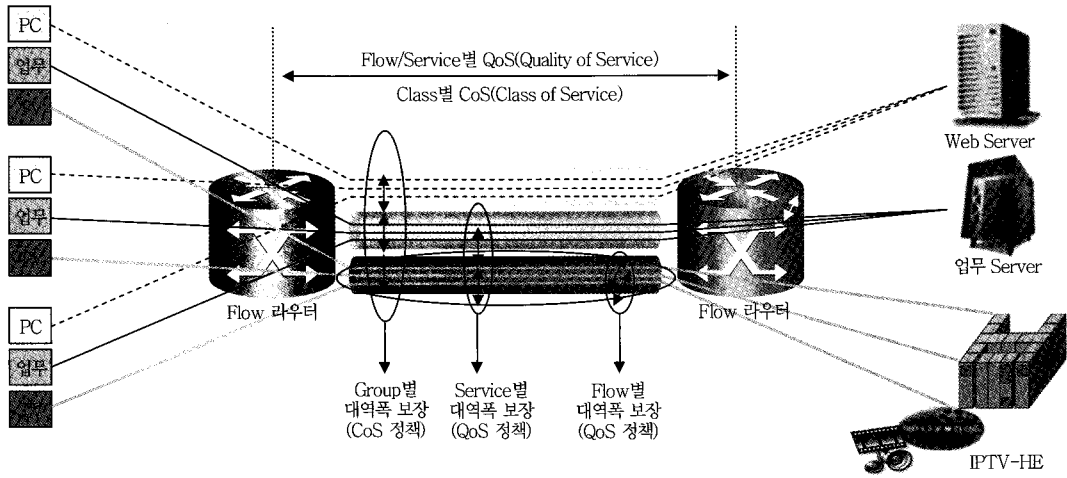
안정적인 상태로 수렴될 수 있도록 해야 한다.

- (6) Programmability: flexibility와 manageability를 제공하기 위해서는 네트워크 요소들에 대해 프로그램 가능한 상태에 있어야 한다.
- (7) Heterogeneity: optical/wireless/sensor 등 하위 계층에 대해서 다양한 물리적 기술을 수용해야 하고, 단 대 단 가상 네트워크의 다양한 프로토콜이나 알고리즘을 수용할 수 있어야 한다.
- (8) Legacy Support: 기존 인터넷 망을 수용할 수 있어야 하며, 하나의 또 다른 가상 네트워크 망으로 취급하는 것도 가능하다. 하지만 이것이 이루어지기 위해서는 장비에 대한 개방화는 필요하다.

4. 플로 기반의 라우터 기술

현재 대두되고 있는 클라우드 컴퓨팅에서 가장 어려운 문제는 현재의 망에서는 네트워크를 통한 end-to-end의 대역폭 보장이 되지 않기 때문에 네트워크 가상화가 어렵다. 또한, 엔터프라이즈 망, 캠퍼스 망, 프리미엄 망 등은 자가망으로 일반 인터넷 트래픽으로부터 보호되어야 할 필요가 있다. 이러한 요구사항들을 망에서 해결하기 위해서는 네트워크 가상화가 필요하다.

한국전자통신연구원 미래네트워크연구부에서는 플로 기반의 품질보장 라우터를 기본 플랫폼으로 유무선 융합 및 엔터프라이즈 망을 위한 다양한 기능들을 개발하고 있다. 플로(flow) 기술은 session, tunnel, circuit 등과 유사한 개념으로, 사용자 또는 서비스 단위로 패킷을 분류하여 같은 흐름의 패킷에 대해 같은 포워딩 또는 QoS 정책을 적용하는 기술이다. 플로 기반의 스위치 및 라우터로 망이 구성되면 QoS 제어가 가능하다. PC를 이용한 일반 인터넷 사용과 특정 업무용 서버를 접속하는 업무와 IPTV 등의 TV



(그림 5) Flow 라우터 기반의 QoS 제어를 위한 Bandwidth Isolation

서비스를 사용하는 경우의 예가 (그림 5)와 같다. 사용자의 트래픽을 관리 가능한 그룹으로 분류, 그룹 내에 각 서비스별 트래픽이 필요한 대역폭을 지정, 서비스 안에서 각 사용자별 트래픽이 필요한 대역폭을 지정할 수 있어 서비스/플로별 정책을 구분하여 전송 가능하다. CAC 정책의 대역폭 이상을 사용하는 경우 해당 플로만 패킷을 drop 시켜 다른 플로에 대한 품질을 보장하는 방식이다. 위와 같은 방식에서는 트래픽 대역이라는 자원이 명확하게 분리되며 네트워크 가상화의 자원 isolation이라는 요구사항을 만족시킬 수 있는 특징이다. 또한, 물리적으로 3개의 망을 분리적으로 사용하는 것과 같은 효과를 낼 수 있다.

IV. 결론

지금까지 각 분야에서 요구하는 가상화 기술에 대해서 알아보고, 특히 네트워크 가상화를 위한 요구사항과 발전 방향을 살펴보았다. 클라우드 컴퓨팅 기술에서는 네트워크 가상화보다는 서버나 스토리지, 링크 가상화 측면에서 많이 발전되어 왔고, 미래 인터넷에서는 좀 더 세부적으로 네트워크 측면에서의 가상

화 요구사항이 있는 것을 볼 수 있었다.

가상네트워크가 보안과 비용 측면에서 오래 전부터 나온 기술인데 반해, 현재 요구되는 네트워크 가상화는 단순히 공중망에서 가상적인 사설망으로 분리하는 측면보다는 인프라 제공자와 서비스 제공자를 분리하여 가상 네트워크를 비즈니스 측면에서 지원해주고, 사용자들이 좀더 편리하고, 확장성을 고려하여 네트워크를 생성 및 해제하는 것이 가능하도록 하는 유연한 망으로 진화를 요구하는 것을 알 수 있었다.

자동적으로 가상 네트워크 생성 및 해제가 가능하고, 복잡해지는 가상 네트워크 환경을 programmable하게 지원하기 위해 OpenFlow와 같은 제어와 데이터 평면을 분리하고, 서비스별 전송이 가능한 구조로 예전의 분산 방식에서 중앙 집중적인 제어 방식에 대한 요구사항을 채울 수 있는 기술의 등장이 필요하다.

또한 기존의 만들어져 있는 네트워크 장비에 네트워크 가상화 요구사항을 순서대로 구현하는 것이 단시간에 목표에 도달하기는 좋지만, 그로 인해 발생할 수 있는 부가적인 문제점을 고려한다면, 미래인터넷이 지향하는 방식과 같이 top-down 방식으로 장비를 설계하고 개발해 나가는 것도 좋은 방법이 된다.

● 용 어 해 설 ●

클라우드 컴퓨팅: 클라우드 컴퓨팅은 인터넷 기반 컴퓨팅으로 자원과 소프트웨어, 정보를 공유하여 사용자가 원하는 단말로 접속해서 사용 가능케 하는 기술

미래인터넷: 기존 인터넷의 미래로 발전 모습을 그리는 전 세계적인 활동을 의미함

약어 정리

AH	Authentication Header
CAC	Call Admission Control
CCN	Cloud Computing Network
CDN	Contents Delivery Network
CE	Customer Edge
ESP	Encapsulation Security Payload
IKE	Internet Key Exchange
InP	Infrastructure Provider
IPSec	IP Security
ISP	Internet Service Provider
LER	Label Edge Router
LSR	Label Switched Router
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NIC	Network Interface Card
PE	Provider Edge
QoS	Quality of Service
SSL	Secure Socket Layer
VLAN	Virtual Local Area Network
VN	Virtual Network
VPN	Virtual Private Network
VRF	Virtual Routing and Forwarding

참고 문헌

- [1] Gregor Schaffrath, Christoph Werle, and Panagiotis Papadimitriou et al., "Network Virtualization Architecture: Proposal and Initial Prototype," *VISA09*, Aug. 17, 2009.
- [2] Fang Hao, T.V. Lakshman, Sarit Mukherjee, and Haoyu Song, "Enhancing Dynamic Cloud based Services Using Network Virtualization," *VISA09*, Aug. 17, 2009, pp.37-44.
- [3] 김영화, "미래인터넷의 네트워크 가상화 기술동향," 전자통신동향분석, 제25권 제1호, 2010. 2., pp.132-147.
- [4] J. Networks. "Logical Router Overview" <http://www.juniper.net/techpubs/software/junos/junos73/swconfig73-routing/html/logical-router-overview.html>
- [5] 김영화, "미래인터넷에서 네트워크 가상화 기술의 적용방안," 전자통신동향분석, 제25권 제2호, 2010. 4., pp.91-100.
- [6] Router Virtualization in Service Providers, Cisco WhitePaper, http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns562/ns573/white_paper_c11-512753.html, 2008.
- [7] "Virtualization in the Core of the Network," Juniper White Paper, <http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/whitepapers/2000299-en.pdf>, 2010.
- [8] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, and J. Turner. "Openflow: Enabling Innovation in Campus Networks," <http://www.openflowswitch.org/wp/documents/>, 2008.
- [9] Jorge Carapinha and Javier Jiménez "Network Virtualization: a View from the Bottom," *SIGCOM 2009*, pp.73-80.
- [10] N.M. Mosharaf Kabir Chowdhury and Raouf Boutaba, "Network Virtualization: State of the Art and Research Challenges," *IEEE Comm. Mag.*, July 2009, pp.20-26.