

# MPLS VPN에서 효율적인 Multicast 지원 방법에 관한 연구

남궁 영\*, 이 종협\*, 송 주석\*

\*연세대학교 컴퓨터 산업시스템 공학과

e-mail:{imyeong, jhlee, jssong}@emerald.yonsei.ac.kr

## A Study on Efficient Multicast Management Scheme in MPLS VPN

Yeong NamGung\* Jong-Hyup Lee\* JooSeok Song\*

\*Dept of Computer Science and Industrial Systems Engineering, Yonsei University

### 요 약

VPN(Virtual Private Network)은 공중망(Public Network)을 통해서 사설망(Private Network) 서비스를 제공한다. VPN의 발달과 더불어 여러 서비스를 제공하기 위해서는 VPN의 멀티캐스트 지원이 필수적이라 할 수 있다. 하지만 VPN에서 멀티캐스트를 제공하기 위해서는 많은 제약사항들이 존재한다. 본 논문에서는 이러한 제약사항을 고려하여 PE(Provider Edge)노드만으로 Tree를 구성하고 BGP-E를 통하여 멀티캐스트 정보를 공유하는 BGP-E기반 MPLS VPN의 멀티캐스트 방법을 제안한다.

### 1. 서론

VPN(Virtual Private Network)[1]이란, Internet과 같은 공중망(Public Network)을 이용하여 지리적으로 멀리 떨어져 있는 회사들을 사설망(Private Network)과 같은 안전한 링크를 통하여 연결해 주는 역할을 하는 가상사설망(Virtual Network)이다.

VPN을 구현하는 기술은 Overlay VPN, Peer-to-Peer VPN, MVPN(Mobile VPN)으로 나눌 수 있다[2].

IP 패킷(packet)을 전송하는 방식 중 멀티캐스트는 한 호스트에서 IP 네트워크의 곳곳에 위치한 호스트의 집단(Group)에게 동일한 패킷을 보내는 방법으로 네트워크의 대역폭(Bandwidth)과 서버의 부담을 줄이는데 매우 효율적인 기술이다.

NBVPN의 형태로 MPLS VPN을 구축한다면, 관리 측면에서 사용자 Site 수에 비례하는 작업의 증가만을 가져올 수 있으며, 서비스 제공자의 백본망을 통해 최적화된 경로를 제공받을 수 있다. 또한 사용자는 더 이상 virtual backbone을 관리할 필요가 없으며, 서비스 제공자는 접근하는 많은 VPN을 효율적으로 관리 가능하다. 뿐만 아니라 MPLS

VPN이 IPsec을 이용한 VPN에 보다 멀티캐스트 지원이 용이하다.

본 논문에서는 MPLS VPN의 동작 방식과 각종 멀티캐스트 방식에 대해 살펴본 후, BGP-E기반의 MPLS VPN에서의 멀티캐스트(Multicast) 지원 방안을 제안한다.

### 2. MPLS VPN

MPLS VPN에 대한 표준화는 IETF에서 추진되고 있는 BGP-E (BGP Multiprotocol Extension) 또는 MP-BGP (Multiprotocol Internal BGP)[6]라는 프로토콜을 이용하는 구조와 ITU-T의 Study Group 13에서 연구되고 있는 VR (Virtual Router)이라는 개념을 이용하는 두 가지의 구조가 제안됐다. BGP-E 방식은 시스코에서 제안해 사용되고 있고, VR 방식은 노텔과 루슨트를 중심으로 여러 기업들이 지지하고 있다. BGP-E 방식은 도달성과 멤버십 정보를 PE간에 BGP-E[3]를 통해 교환한다. VR 방식[4][5]에서는 PE에 VPN별로 VR들을 배치하고 같은 VPN에 속하는 VR들끼리 기존의 라우팅 프로토콜을 이용해 라우팅 정보를 전달한다.

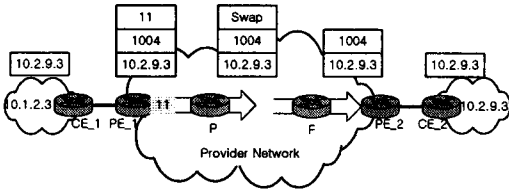


그림 1. VPN Traffic 전달 과정

MPLS VPN은 PE(Provider's Edge device), P(Provider's device), CE(Customer's Edge device) 등의 구성요소로 구성된다. P와 PE는 서비스 제공자의 백본망에 속하게 되고, CE는 고객 네트워크에 속하게 된다. 고객 네트워크와 서비스 제공자의 백본망의 연결은 CE와 PE간의 링크를 통해 이루어진다. P는 VPN을 위한 별도의 기능을 가지지 않을 뿐만 아니라 VPN에 관한 정보도 유지하지 않는다. 이 사실은 MPLS VPN의 확장성을 위한 핵심 요소이다. PE는 들어오는 패킷을 VPN별로 구분하여 포워딩하게 되는데 이는 VRF(VPN Routing and Forwarding instance)를 통해 구현된다. VRF는 표 1과 같이 각 VPN별로 PE에서 관리되는 라우팅 테이블이다.

레이블 스택킹(Label Stacking)은 LSP(Label Switched Path)를 공유할 수 있는 MPLS의 대표적인 기능이다. LSP는 MPLS VPN에서 보안성을 확보하기 위한 주요한 방법인 터널링 메커니즘이다. 만약 두 PE사이에 n개의 터널이 필요하다면 n개의 터널이 필요하다면 n개의 LSP를 따로 설정할 수도 있지만 한 개의 LSP를 레이블 스택킹을 통해 공유할 수도 있다.

그림 1은 레이블 스택킹을 이용한 VPN Traffic의 전달 과정을 보여주고 있다. 그림 1은 Site 1의 IP가 10.1.2.3인 호스트가 Site 2의 IP가 10.2.9.3인 호스트로 데이터를 보내는 경우를 가정하였다. 그림 1의 PE\_1의 VRF는 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

**3. VPN에서 멀티캐스트의 문제점**

앞에서도 언급된 것처럼 VPN에서의 멀티캐스트 구현이 중요한 문제로 부각되고 있지만, IPsec기반의 VPN의 경우에는 SA협상의 문제 등으로 인하여 멀티캐스트 구현에 구조적인 한계점을 가지고 있다.

표 2. VRF의 구조

Destination	Next-Hop	Interface	Bottom Label	Top Label
10.1/16	Direct	if_1	1001	-
10.2/16	PE-2	if_2	1004	11

따라서 VPN에서의 멀티캐스트 지원은 MPLS VPN에 초점이 맞추어지게 된다.

그렇지만 MPLS VPN에서도 멀티캐스트 지원에 문제점을 가지고 있다. MPLS VPN의 멀티캐스트 그룹 가입이나 탈퇴를 위해서는 멀티캐스트 트리에 참여하는 노드들이 VPN 멤버십에 대한 정보를 가지고 있어야 하는데, 이를 위해서는 멀티캐스트 정보가 여러 노드들 사이에서 전송되고 유지되어야 한다. 그리고 MPLS VPN의 보안을 위한 트래픽 분리(traffic separation)의 입장에서도 문제가 된다.

따라서 현재 MPLS VPN의 멀티캐스트는 CE가 보낸 멀티캐스트 패킷을 PE에서 VPN별로 다른 그룹 주소를 가지는 패킷으로 새로 캡슐화(encapsulation)하여 VPN에 등록된 모든 PE에게 전송하거나, MPLS외부에서는 IP 멀티캐스트 방법을 그대로 이용하고, MPLS망 내부에서는 송신자가 있는 곳의 PE가 수신자가 있는 사이트 개수만큼의 데이터를 복사해 각각을 유니캐스트를 통하여 전송하는 방법을 이용하고 있다[7]. 하지만 이러한 방법은 수신 노드 수와 상관없이 traffic aggregation을 통해 효율적인 대역폭을 사용하고자 하는 멀티캐스트의 장점을 살리지 못하는 문제점을 가지고 있다.

**4. 제안된 MPLS VPN 멀티캐스트 방법**

MPLS VPN의 제한점들을 고려하여 제안하는 MPLS VPN에서의 멀티캐스트 방법은 PE들 간에만 멀티캐스트 Tree를 구성한 후 이를 이용하여 멀티캐스트 데이터를 전달하는 방법이다.

**4.1 VRF와 MVRF**

이하에서 제안할 방법은 멀티캐스트와 관련된 정보를 VRF와 MVRF에 의해서 관리한다. 어떤 멀티캐스트 세션이 존재하는 PE의 VRF는 해당 VPN의 Outbound 트래픽 필터링에 이용되고, 멀티캐스트 멤버십과 같은 멀티캐스트 패킷 포워딩에 필요한 세부적인 내용은 Multicast VRF(MVRF)에 저장된다.

VRF에는 기존의 VPN 유니캐스트에 이용되었던 엔트리와 멀티캐스트에 이용되는 엔트리가 저장된다. 멀티캐스트 정보를 저장하는 엔트리도 유니캐스트의 엔트리 필드를 그대로 이용하기 때문에 별도로 새로운 VRF 데이터 구조를 정의할 필요는 없다. PE VRF의 주소를 보고 멀티캐스트 주소 영역(Class D)에 해당하는 엔트리는 멀티캐스트 엔트리로 취급한다. 멀티캐스트 세션 주소가 VRF에 기록

되기 때문에 각 멀티캐스트 세션은 해당 VPN내에서 유일한 멀티캐스트 주소를 가지게 된다.

VRF의 멀티캐스트 엔트리는 표 2와 같이 구성된다. MVRF로의 포인터는 이 주소의 멀티캐스트 세션이 MVRF의 몇 번째 엔트리에 해당되는지를 가르키고 Sequence number는 MVRF의 내용이 변경될 때마다 카운트된다. Source PE의 ASN은 멀티캐스트 세션의 소스를 구분하기 위해 저장된다.

멀티캐스트는 세션 하나 당 여러개의 outgoing 인터페이스가 필요하다. 따라서 MVRF는 Next Point 필드에 다음 엔트리로의 포인터를 가지는 Linked-list형태로 구성된다. 포인터외에 각 엔트리마다 데이터를 복사해서 전송해야하는 outgoing 인터페이스와 레이블 정보가 저장된다(표 3 참조).

이렇게 VRF의 멀티캐스트와 관련된 엔트리카나 MVRF는 VRF의 필드를 그대로 이용하게 되므로 기존의 BGP-E의 프로토콜에 변화를 주지 않고도 VRF 멀티캐스트 엔트리카나 MVRF 정보를 주고 받을 수 있게 된다. 또 VRF와 MVRF를 하나로 결합시켜 하나의 테이블로 관리할 수도 있다.

VRF와 MVRF의 테이블 관리는 각 PE에서는 전달받은 Route 정보(상대편 PE에서 보낸 Route Advertisement 메시지)에서 멀티캐스트 엔트리카 포함되어 있다면 이와 자신의 VRF를 비교하여 자신의 VPN이 가입되어 있는지를 확인한다. 자신의 VRF에 해당되는 엔트리카 있다면, 곧바로 Sequence Number를 서로 대조해 보고 자신의 엔트리의 값이 더 작다면 상대 PE에게 MVRF 재전송을 요청하게 된다. 자신의 VRF에 해당 멀티캐스트 엔트리카 없고, 전달받은 멀티캐스트 엔트리의 Sequence Number가 0이고 상대 PE가 Source PE 라면 이는 초기의 트리 생성을 위한 신호이므로 CE에 동일한 멀티캐스트 수신자가 있는지를 확인하여 이것의 유무에 따라 제거(Prune)메시지를 상대 PE에 보내게 된다. Sequence number는 불필요한 중복 MVRF 전송을 막아 대역폭 효율에 이득을 볼수 있다.

표 3. Multicast가 적용된 PE 2의 VRF의 구조

Unicast Address	Next Hop	Interface	Bottom Label	Top Label
Multicast Address	Pointer to MVRF	-	Sequence Number	Source PE's ASN
10.1/16	PE-1	if_1	1001	21
...	...	...	...	...
224.0.0.1/16	mvrfl-1	-	3	12

#### 4.2 멀티캐스트 트리 구성과 유지

어떤 한 지역 VPN의 한 호스트가 멀티캐스트 그룹에 새롭게 가입하면 이 정보가 CE(Customer's Edge device)를 통해 PE(Provider's Edge device)에 전달된다. 그리고 이 정보를 받은 PE는 자신의 VRF를 갱신한 후 BGP route refresh 기능을 통해 이를 다른 모든 PE에게 알리게 된다. 각 PE들은 자신의 VPN에 속한 CE에 이 정보를 전달해 자신이 관리하는 VPN에 같은 멀티캐스트의 가입자가 있는지를 알아보고, 만약 없으면 제거(Prune)메시지를 보내게 된다. 만약 PE의 VPN에 같은 멀티캐스트 그룹의 주소가 있다면 제거(Prune)메시지를 보내지 않는데, Source PE는 일정시간동안 제거 메시지를 보내지 않은 PE를 멀티캐스트 그룹 멤버로 가입시키고 이에 따라 자신의 MVRF를 갱신하고 이를 다시 가입된 PE들에게 전달한다. 갱신된 MVRF를 받은 노드들은 뒤에 설명할 트리 구성 방법에 따라 재조정 과정을 거쳐 트리를 완성하게 된다.

새로 가입하는 PE는 자신이 가입하고자 하는 멀티캐스트 주소를 VPN의 모든 PE에게 알린다. 그 주소에 가입되어있는 PE들은 자신의 MVRF를 가입하고자 하는 PE에게 전달하게 된다. PE는 전달받은 MVRF를 이용하여 멀티캐스트 트리의 토폴로지를 계산하게 되고 다음 방법에 의하여 자신의 부모 노드가 될 PE를 골라 트리 가입 메시지를 보낸다. 가입할 노드 선정 방법은 다음과 같다.

$$\text{cost} = -(\text{depth} - \alpha \cdot \text{load})^2 - \beta \cdot \text{child} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\text{max\_depth}}{\text{BW}} \quad (2)$$

가입하려는 PE는 MVRF에서 구성해낸 멀티캐스트 트리 토폴로지에서 트리의 max\_depth, child, depth 등의 정보를 얻어낸다. load는 전체 네트워크에 걸리는 load, BW는 링크별 최대 대역폭, max\_depth는 멀티캐스트 트리의 최대 depth값들을 각각 의미한다. 위의 식을 이용해서 멀티캐스트 트리의 각 노드 depth와 child 수를 이용해서 각 노드의 cost를 구하고 그 중에서 가장 높은 cost를 가지는 노드를

표 4. PE 2의 MVRF의 구조

Next Point	Next-Hop	Interface	Bottom Label	Top Label
next_1	Direct	if_2	1002	-
next_2	PE-3	if_3	1004	23
NULL	PE_4	if_4	1005	24

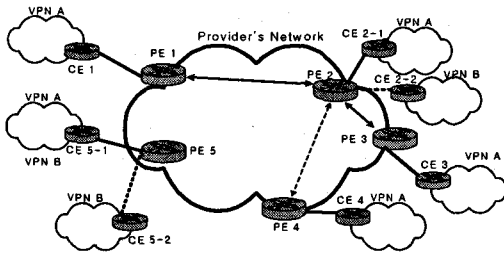


그림 2. Multicast Tree 구성도

가입할 노드로 선택하여 가입 메시지를 보낸다. 이렇게 함으로써 각 PE의 부하를 분산시키며 균형 있는 tree를 구성하게 된다.  $\alpha$ 값은 load의 변화량을 max\_depth 크기로 normalize하고,  $\beta$ 는 자식의 수가 cost에 미치는 영향을 조정하기 위한 파라미터의 역할을 한다.

그림 2는 PE 1, PE 2 그리고 PE 3가 이미 같은 멀티캐스트 그룹 224.0.0.1에 가입한 상태를 보여주고 있다. 이때 같은 VPN인 CE 4에서 새롭게 같은 멀티캐스트 그룹에 가입 할 호스트가 있음을 PE 4에 알려왔다면 MPLS VPN간에 멀티캐스트 트리를 갱신하여야 한다. 갱신은 다섯 단계로 진행된다. (1) 단계는 CE 4에서 PE 4에게 IGMP(Internet Group Management Protocol)와 같은 프로토콜을 통해 새로운 멀티캐스트 그룹 가입이 발생했음을 알린다. (2)단계는 PE 4가 멀티캐스트 그룹의 가입 의사를 다른 PE들에게 알리게 된다. (3)단계는 해당 멀티캐스트 그룹에 가입되어있는 PE들이 자신의 MVRF를 PE 4에게 보내온다. (4)단계에서 PE 4는 MVRF로 멀티캐스트 트리 토폴로지에 대한 정보를 구성하고 트리에 있는 PE들 중에서 자신이 트리를 연결할(자신의 부모 노드가 될) PE를 선정하여 트리 가입 메시지를 보내게 된다.(여기에서는 PE 2) MVRF의 갱신은 우선적으로 새로이 연결된 노드에서만 일어나면 되기 때문에 갱신작업에 대한 오버헤드가 지역화 된다. 이 모든 작업이 끝나면 (5)단계에서 결국 멀티캐스트 세션(Session)이 만들어진다.

## 5. 결론 및 제언

지금까지 PE들간에만 멀티캐스트 Tree를 구성하여 MPLS VPN에서 멀티캐스트를 실현하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 MPLS VPN에서 멀티캐스트를 위하여 트리를 사용하기 때문에 트래픽의 집산화(aggregation)가 가능하며, 기존의 BGP-E의 프로토콜에 변화를 주지 않고도 VRF 멀티캐스트 엔트리

나 MVRF 정보를 주고받을 수 있다. 그리고 멀티캐스트에 가입한 PE들만으로 트리를 구성하기 때문에 P에는 아무런 영향이 없게되어, 저장공간의 낭비를 막을 수 있고, MPLS VPN의 정보 보호 용도의 Traffic separation 기능도 가능하게 된다. 또한 네트워크의 load, 트리의 depth 및 child의 수에 따라 트리 구성을 매우 유연하게 할 수 있다.

그러나 이러한 트리를 구성, 관리하기 위하여 많은 제어패킷이 필요하며, 최적화된 트리가 구성되지 않을 수 있다. 즉, 최악의 경우에는 트리가 직선형태로 이루어져 큰 end-to-end delay를 가지게 된다. 따라서 앞으로 최적화된 경로를 가지는 트리 구성에 관한 심도 있는 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] Ruixi Yuan, W. Timothy Strayer, "Virtual Private Networks", Addison-Wesley, 2001
- [2] Badran, H.F. "Service Provider Networking Infrastructures with MPLS", Sixth IEEE Symposium on, pp.312~318, 2001
- [3] T. Bates, et al, "Mutiprotocol Extensions for BGP-4", Standards Track Request for Comments 2283, February 1998.
- [4] 김숙연 외2명, MPLS를 이용한 IP VPN의 기술 동향, 전자통신동향분석, pp.41-48, 2000
- [5] H. Ould-Brahim, B. Gleeson, "Network based IP VPN Architecture Using Virtual Routers", Internet-draft, Mar. 2000
- [6] E. Rosen, et al., "BGP/MPLS VPNs", draft-ietf-ppvpn-rtc2547bis-02.txt, Internet Draft, July 2002
- [7] Cisco Systems, Inc., "Multicast Virtual Private Networks", White Paper, 2002
- [8] A. Acharya, et al, "IP Multicast Support in MPLS Networks", draft-acharya-ipsufacto-mplsmcast-00.txt, Internet Draft, August 1999.
- [9] B. Yang, P. Mohapatra, "Edge router multicasting with MPLS Traffic Engineering", IEEE Int. Conf. on Networks(ICON), 2002
- [10] Eric C. Rosen, "Multicast in MPLS/BGP VPNs", draft-rosen-vpn-mcast-04.txt, Internet Draft, August 2002.