

# MPLS 망에서 브로드캐스팅을 위한 포워딩 동일 클래스

최현경\*, 박창민\*\*, 김상하\*  
\*충남대학교 컴퓨터학과, \*\*ETRI

## Forwarding Equivalence Class for Broadcasting on MPLS network

Hyun-Kyung Choi\*, Chang-Min Park\*\*, Sang-Ha Kim\*

\*Dept. of Computer Science, Chungnam National University  
\*\*Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

Multiprotocol Label Switching (MPLS)는 기존의 인터넷 라우팅에서 사용하는 longest prefix match 방식 대신에 short label exact match 방식을 사용함으로써 더 단순한 고속 포워딩 기술을 제공한다. 또한, 동일한 Forwarding Equivalence Class (FEC)에 속하는 플로우들을 합성하여 하나의 레이블을 사용하는 방법 즉, Multipoint-to-Point Tree (MPT)를 형성함으로써 확장성을 향상시켰다. 본 논문에서는 현재 이슈가 되고 있는 “IP address prefix”와 “host LSP”의 FEC 타입과는 진송 방식이 다른 브로드캐스팅을 위한 “broadcast” FEC 타입을 제안하였으며, 브로드캐스트 패킷을 전송하는데 있어서 각각의 Label Switched Path (LSP) 제어 방식을 사용할 경우의 문제점을 분석하고, 유니캐스팅과 브로드캐스팅의 서로 다른 레이블 할당 방식으로 인한 레이블 충돌을 해결하기 위해서 레이블의 범위를 분류하여 사용하는 방식을 제안한다.

## 1. 서론

MPLS는 인터넷에서 속도, 확장성 그리고 서비스 제공 능력을 향상시키는 Internet Engineering Task Force (IETF) standard로 급속하게 성장하고 있다. MPLS는 기존의 인터넷 라우팅에서 사용하는 longest prefix match 방식 대신에 short label exact match 방식을 사용함으로써 더 단순한 고속 포워딩 기술을 제공한다. 또한, 동일한 FEC에 속하는 패킷들을 합성하여 하나의 레이블을 사용하는 방법 즉, MPT를 형성함으로써 확장성을 향상시켰다. 여기서 FEC란 동일한 경로를 따르는 패킷들의 집합을 말한다[1,2,4].

현재까지 MPLS 스펙에서 제안되고 있는 FEC 타입에는 IP address prefix, router id, application flow가 있다. 하지만, RSVP와 연계해서 사용되는 application flow에 대한 레이블링은 선연적인 의미만을 갖는다고 생각된다. 한편, Cisco사의 Eric Rosen이 스펙에 있는 FEC 타입의 분류에 대해 문제를 제기하였다. IP address prefix와 router id 타입을 하나의 IP address prefix 타입으로 통일하고, 특정한 출구(egress) 라우터에 패킷을 전달하기 위한 특별한 경우의 방안으로는 host LSP 타입을 제안하였다. 즉, host LSP 타입은 특별히 호스트를 구별하려고 하는 경우에만 사용된다는 것이다.

한편, IP 구조를 보면 host Id, address prefix, broadcasting, multicasting의 네가지 종류의 구조를 가지고 있다 [6]. 브로드캐스트 페킷은 유니캐스트 페킷과는 달리 유입된 하나의 페킷에 대해 입력 포트를 제외한 모든 다른 포트로 포워딩된다. 즉, 브로드캐스트 타입은 IP address prefix 타입과는 전송 방식이 다르기 때문에 FEC 타입에 브로드캐스트 타입을 추가해야 한다고 생각한다. 본 논문에서는 브로드캐스트 FEC 타입을 제안하고 브로드캐스트 패킷을 레이블을 이용하여 전송하는 방식에 대해서 소개하고 있다.

## 2. MPLS 개요

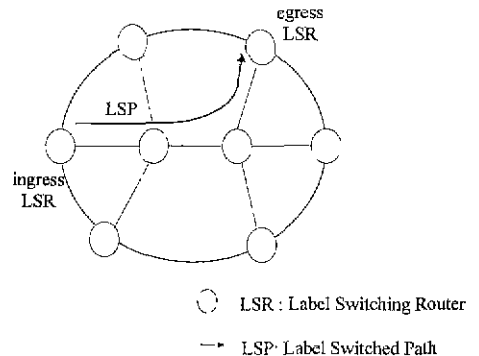


그림 1. MPLS 구조

기존의 인터넷에서는 포워딩 결정이 각 홉(hop)에서 독립적으로 발생한다. 패킷에 대한 포워딩 결정은 패킷의 헤더 분석과 IP 라우팅 알고리즘 수행 결과를 기반으로 한다. 패킷 헤더에는 다양한 정보가 포함되어 있는데, 이런 헤더를 이용하여 다음 홉을 결정할 때는 FEC로 패킷들을 구분하는 기능과 구분된 FEC를 다음 홉으로 매핑하는 두가지 기능을 통해 이루어진다. 이때 다른 패킷일지라도 같은 FEC로 매핑되며 특정 노드로부터 같은 경로를 지치는 패킷들을 스트림이라 한다. 기존의 IP 포워딩에서는 각 패킷의 목적지 주소에 대한 longest match가 이루어지는 address prefix X가 존재하는 경우에는 같은 스트림에 있다고 가정한다. 각 홉에서는 패킷 헤더를 매번 다시 분석하여 스트림을 할당한다.

MPLS에서는 특정 패킷을 스트림으로 할당하는 것을 패킷이 망에 들어올 때 단지 한번만 수행한다. 패킷에 할당된 스트림은 레이블이라는 값으로 인코딩된다. 패킷이 다음 홉으로 포워딩될 때 레이블도 함께 포워딩 된다. 다음 홉에서는 패킷 헤더를

분식하는 것이 아니라 레이블이 록업 레이블의 인덱스로 사용되어 새로운 레이블로 치환되어 다음 홉으로 전달된다. 만일 스트림에 대한 레이블 할당이 longest match에 기반한다면, 각 홉에서 수행해야 하는 longest match 계산은 단 한번만 이루어지는 것이 된다 [1,2].

### 3. MPLS 기능

#### 3.1 레이블 관련 요소

MPLS에서 사용되는 레이블은 스트림을 식별하기 위해 사용하는 작고 고정된 크기의 국부 식별자로 패킷이 할당되는 스트림 또는 FEC를 기반으로 하며, 레이블 선택은 IP 헤더 + FEC에 따라 선택되는 특성을 가진다

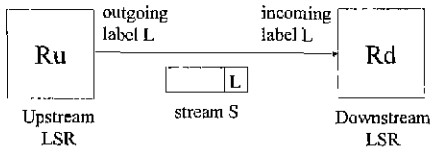


그림 2 MPLS 구성요소

MPLS의 가장 기본적인 요소는 그림 2에서와 같이 Ru, Rd의 라우팅 요소와 스트림 S, 레이블 L 등으로 구분된다. Ru는 Rd로 패킷을 전송하는데, 이때 스트림 S에 대해 레이블 L의 사용을 협상하게 된다. 협상이 완료되면 L은 Ru 입장에서는 출력(outgoing) 레이블이 되고, Rd 입장에서는 입력(incoming) 레이블이 된다. 전달되는 패킷은 네트워크 계층 또는 데이터 링크 계층의 적절한 위치에 레이블 인코딩 절차에 따라 전달된다

Label Switching Router (LSR)는 레이블 협상과 관련하여 업스트림, 다운스트림으로 구분된다. 패킷 전송 방향은 업스트림에서 다운스트림으로 진행되며, 이때 각 방향은 라우팅 프로토콜과는 독립적이다 [1,2]

#### 3.2 레이블 할당 및 분배

MPLS에서 유니캐스트 트래픽을 위해 특정 스트림 S에 대한 레이블 L의 바인드 결정은 다운스트림 LSR에 의해서 결정하며, 결정된 L에 대한 정보는 업스트림에게 전달된다. 순차적으로 업스트림 LSR로 동작하던 Ru는 다시 다운스트림 LSR로 동작되어 다른 LSR로 전달되며, 이때 특정 스트림에 대한 정보는 그대로 유지된다.

Label Distribution Protocol (LDP)는 한 LSR에서 만들어진 스트림과 레이블의 매핑 정보를 전달하는 일련의 절차이다. 이 LDP를 통해 상호 스트림/레이블 매핑 정보를 교환하는 LSR를 LDP peer라 한다 [1,2].

#### 3.3 LSP 제어 방식

Label Switched Path (LSP) 설정 방법은 각 노드에서 시작하거나 출구 노드에서 실행하는 방법으로 구분할 수 있다. 각 노드에서 수행하는 방법은 각 노드에서 새로운 레이블 할당을 시작하여 업스트림 노드에게 전달하는 방법으로, 각 노드에서 수행하는 관계로 할당하기 위한 레이블 granularity의 불일치가 발생할 수 있으며 이를 독립적인(independent) 방식이라고도 한다. 반면, 출구 노드에서 레이블 할당을 시작하여 업스트림에게 차례로 레이블이 파인딩되는 방법은 하나의 FEC에 대한 LSP 설정에 대해 일치성이 유지되기 때문에 granularity 불일치가 일어나지 않으며, 이를 순서화된(ordered) 방식이라고도 한다. 여기서 granularity란 IP 패킷 포워딩시 IP 주소의 일부분으로 포워딩하는 경우 코스 그레인(coarse grain)이라 하며, IP 주소 전체를 보고 포워딩하는 것을 파인 그레인(fine grain)이라 하여 각 서브넷을 거치는 동안의 포워딩에 대한 규칙을 정한 것이다. 일반적으로 파인 그레인에서 코스 그레인으로 포워딩이 가능하지만, 코스 그레인에서 파인 그레인으로 포워딩은 불가능하다. 이때는 해당 IP 주소를 다시 검사해야 한다. 이와 같은 문제는 독립적인 LSP 제어 granularity 불일치가 발생할 경우 특정 레이블에 대해 포기하고 새로 설정해야 하는 경우가 발생한다. 따라서 독립적인 LSP 제어 방법을 사용한 경우에는 위의 문제를 해결할 수 있는 방법이 있어야 한다 [2,4]

#### 3.4 FEC 타입

MPLS에서는 IP 패킷들이 각 LSP에 매핑되는 것을 정확히 정의할 필요가 있으며, 이러한 정의는 각 LSP에 대해 FEC 상세서를 제공함으로써 행해진다.

LDP는 동일한 출구 노드를 통해서 종단간 플로우에서부터 모든 트래픽의 집합에까지 LSP granularity를 제공하며, granularity의 선택은 FEC 선택에 의해서 결정된다. FEC 타입은 다음과 같다 [3]

- IP Address Prefix: 하나 이상의 IP address prefix의 리스트를 제공하는 것으로, 목적지 주소가 하나 이상의 특정 prefix에 일치하는 모든 IP 패킷은 관련된 LSP를 사용하여 포워딩된다.
- Router Id: 라우터의 32bit IP 주소인 라우터 id를 제공하는 것으로, 목적지로 가는 경로가 특정 라우터를 통과하는 것으로 알려진 모든 IP 패킷은 관련된 LSP를 사용하여 포워딩된다.
- Flow: 포트, 목적지 주소, 송신자 주소와 같은 데이터그램 정보 집합을 특징짓는 것으로, 집합이 없는 MPLS 플로우를 제공하기 위한 LDP를 제공한다.

### 4. 제안한 브로드캐스트 타입

#### 4.1 배경

MPLS는 동일한 FEC에 속하는 패킷들을 협성하여 하나의 레이블을 사용하는 방법 즉, MPT를 협성함으로써 확장성을 향상시킨다. 따라서, FEC 타입의 문제는 MPLS에서 중요한 이슈이다

현재까지 스펙에서 제안되고 있는 FEC 타입은 위에서 설명한 바와 같이 IP prefix, router id (egress point id), application flow이다. 하지만, RSVP와 연계해서 사용되는 어플리케이션 플로우에 대한 레이블은 선언적인 의미만을 갖는다고 생각한다. 한편, Cisco사의 Eric Rosen이 스펙에 있는 FEC 타입의 분류에 대해 문제를 제기하였다. IP address prefix와 router id 타입을 하나의 IP address prefix 타입으로 통일하고, 특정한 출구 라우터에 패킷을 전달하기 위한 특별한 경우의 방안으로 host LSP 타입을 제안하였다. 즉, host

LSP 타입은 특별히 호스트를 구별하려고 하는 경우에만 사용된다는 것이다.

한편, IP 구조를 보면 host Id, address prefix, broadcasting, multicasting의 네가지 종류의 구조를 가지고 있다[6]. 브로드캐스트 패킷은 유니캐스트 패킷과는 달리 유입된 하나의 패킷에 대해 입력 포트를 제외한 모든 다른 포트로 포워딩된다 즉, 브로드캐스트 타입은 유니캐스트 즉, IP address prefix 타입과는 전송 방식이 다르기 때문에 FEC 타입에 브로드캐스팅 타입을 추가해야 한다고 생각한다.

#### 4.2 브로드캐스트 타입 전송 방식

유니캐스트 즉, IP address prefix 타입은 패킷이 입구 (ingress) 노드에 도착하면 입구 노드에서는 이에 해당하는 레이블을 할당할 것이고, 라우팅 테이블에서는 해당하는 레이블에 대한 타입이 경로에만 관련되어 포워딩 정보를 유지한다. 왜냐하면, IP address prefix 타입의 정의가 하나의 경로에 할당된다는 정의에 의해서이다. 반면에, 브로드캐스트 타입은 유입된 하나의 패킷에 대해 입력 포트를 제외한 모든 다른 출력 포트로 포워딩하게 된다. 이것은 브로드캐스트 타입에 대한 spanning tree가 형성되는 초기에 포워딩에 대한 여러 경로가 정해지게 된다 [6]

현재 레이블 분배 방식으로는 독립적인 제어 방식과 출구 제어 방식이 있다. 그러나 브로드캐스트 패킷을 전송하기 위해서는 입구 제어 방식을 제안한다. 유입된 패킷을 모든 출력 포트로 전송하기 때문에 동일한 레이블을 사용하여 전송하는 것이 바람직하다고 생각한다[1][5]. 따라서, 입구 제어 방식은 업스트림에서 레이블을 할당을 시작하여 다운스트림에게로 차례로 레이블을 바인딩하는 방법이다 그러나, 기존의 라우터에서 사용하는 테이블을 사용하는 경우에도 레이블 기억장소를 포인터로 만들어서 사용하면 모든 출력 포트로 서로 다른 레이블을 사용할 수 있다

또한, 입구 제어 방식으로 브로드캐스트 패킷을 전송하는 경우에 전송된 패킷을 각 라우터에서는 입력 포트를 제외한 나머지 포트에 패킷을 복사하게 되므로 패킷이 중복되어 전송될 수가 있다. 따라서 이러한 중복된 패킷이 전송되는 것을 방지하기 위해 Reverse Path Forwarding (RPF)을 사용하여 루프가 생기는 것을 방지하게 된다. 여기서 RPF란 브로드캐스팅 알고리즘으로 라우터는 전송된 브로드캐스트 패킷이 송신자 (ingress)로부터 선택된 경로인지를 체크해서 선택된 경로로부터 전송된 패킷이면 패킷을 받아들이고 그렇지 않으면 패킷을 제거하는 방식으로 패킷이 중복되어 전송되는 것을 방지한다 [6].

이와 같은 RPF를 사용하는 경우에 송신자 (입구)의 주소는 LDP에서 레이블 분배시 레이블과 이에 대응하는 address prefix를 첨부하므로 알 수가 있다. 따라서, 입구에서 레이블을 분배하는 경우에도 레이블과 이에 대응하는 address prefix 즉, ingress id를 첨부한 것이다. 그러므로 각 노드에서는 포워딩을 할 것인지 혹은 전송을 중단할 것인지를 결정할 수 있다. 또한, 독립적인 제어 방법을 사용하여도 역시 이와 같이 적용할 수 있으며, 한 노드에서 브로드캐스팅을 위해 동일한 레이블을 사용하지 않는다면 출구 제어 방식도 가능하다 그러나, 동일한 레이블을 사용하지 않는다면  $O(m*n)$ 의 확장성 문제가 발생한다. 여기서  $m$ 은 노드의 포트 수이고,  $n$ 은 MPLS 망에서의 출구 노드의 수이다. 왜냐하면, 한 노드에서 하나의 입구 노드에 대한 브로드캐스팅에 필요한 레이블의 수는 최악의 경우에  $m$ 개가 필요하며, 모든 출구 노드에 대해 브로드캐스팅을 하면  $m*n$ 개의 레이블이 필요하기 때문이다.

따라서 최악의 경우 출구 노드 수 만큼의 포트 수가 필요한 라우터의 경우에는  $O(n^2)$ 의 문제가 발생하게 된다. 이러한 확장성의 문제는 egress FEC 타입으로 해결할 수 있다. 각 입구 노드에 브로드캐스트 패킷이 도착하면 각 출구 노드에 해당하는 LSP 모두에게 복사하여 포워딩하면 된다. 즉, 다수의 유니캐스팅을 사용하여 전송하는 방법이다. 그러나 이러한 방법의 문제점은 브로드캐스팅은 가능하지만 패킷 복사의 오버헤드가 발생한다는 것이다.

한편, 유니캐스팅 및 브로드캐스팅을 위해 모든 레이블을 업스트림 할당 방식을 사용하면 레이블 충돌이 전혀 발생하지 않는다. 그러나, 유니캐스팅은 egress FEC 타입을 지원하기 위해서 다운스트림 레이블 할당 방식을 사용하고, 브로드캐스팅은 업스트림 레이블 할당 방식을 사용하게 되면, 레이블 충돌이 발생하게 된다 따라서, 유니캐스팅의 egress FEC 타입을 지원하면서, 브로드캐스팅을 위해서는 패킷 복사의 오버헤드를 줄이고,  $O(n)$ 으로 확장성을 향상시킬 수 있는 방법으로, 유니캐스팅을 위해 사용하는 레이블과 브로드캐스팅을 위해 사용하는 레이블을 분류해서 사용하는 방법을 제안한다. 즉, MPLS 망에서 사용할 수 있는 레이블이 0~255번까지라고 가정할 때, 0~200번까지의 레이블은 유니캐스팅을 위해서 사용되어지고, 201~255까지의 레이블은 브로드캐스팅을 위해서 사용하는 방법으로 레이블 할당 범위가 다르므로 레이블 충돌이 발생하지 않는다.

#### 5. 결론

본 논문은 기존의 "IP address prefix"와 "host LSP"의 FEC 타입에 브로드캐스트 패킷을 위한 "broadcast" 타입을 추가할 것을 제안하였다. 제안한 브로드캐스트 패킷을 전송하기 위하여 LSP 제어 방식으로 입구 제어 방식과 독립적인 제어 방식을 사용하였을 경우에 확장성 문제가 발생하였다. 반면, 출구 제어 방식을 사용하였을 경우에 확장성 문제는 해결하였지만 패킷 복사의 오버헤드가 크다는 것을 알 수 있었다 또한, 유니캐스팅과 브로드캐스팅의 레이블 할당 방식이 다를 경우에 발생하는 레이블 충돌은 유니캐스팅과 브로드캐스팅에서 사용하는 레이블의 범위를 분류해서 레이블 충돌 문제를 해결하였다. 따라서, 향후에는 패킷 복사의 오버헤드와 확장성 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법을 연구하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] R. Callon, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, G. Swallow, and A. Viswanathan, "A Framework for Multiprotocol Label Switching", Internet Draft, November 1997
- [2] E. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, "A Proposed Architecture for MPLS", Internet Draft, July 1997.
- [3] Loa Andersson, Paul Doolan, Nancy Feldman, Andre Fredette, Bob Thomas, "LDP Specification", February 1999
- [4] Arun Viswanathan, Nancy Feldman, Zheng Wang, Ross Callon, "Evolution of Multiprotocol Label Switching", IEEE Communication Magazine, May 1998
- [5] Bruce Davie, Paul Doolan, Yakov Rekhter, "Switching in IP Networks", Morgan Kaufmann Publishers, Inc, 1998.
- [6] Andrew S. Tanenbaum. "Computer Networks", third edition, Prentice-Hall International, Inc, 1996.