

MPLS망에서 CR-LDP에 기반한 ER-LSP 패킷 전송에 관한 분석

김상욱, 원철연, 이문호

전북대학교 정보통신연구소

전북대학교 전자정보공학부 정보통신공학과

E-mail : moonho@moak.chonbuk.ac.kr

요 약

본 논문에서는 작은 고정길이의 레이블에 의해 IP 패킷 forwarding을 수행하도록 하여 라우터에 비해 IP 패킷 처리 성능을 향상시키는 방안으로 제안된 MPLS에 대한 주요 특징을 설명하고, MPLS망에서의 트래픽 엔지니어링에 대해서는 LDP 방식을 확장한 CR-LDP 방식과 ER-LSP 설정 과정을 고찰하고, CR-LDP를 기반으로 하는 ER-LSP 설정 및 장애 복구 과정에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 MPLS망에서 IP 패킷 전송 과정을 분석한다.

1. 서 론

'90년대 초 등장한 WWW(World Wide Web)의 확산에 힘입어 인터넷은 양적으로는 호스트의 수에서 연평균 40% 이상의 성장률을 보였고, 질적으로는 비실시간 문자 데이터 전송 위주의 서비스에서 음성 및 실시간 화상 데이터 등을 요구하는 멀티미디어 서비스로의 변화와 서비스의 가용성 및 품질에 대한 각기 다른 요구사항을 가진 사용자 그룹의 증가로 인한 QoS 확대 등으로 트래픽이 급격하게 증가되었다. 이에 따라 인터넷에 대한 표준화를 담당하는 IETF(Internet Engineering Task Force)을 중심으로 트래픽 증가에 따르는 문제를 해결하기 위한 새로운 기술과 프로토콜에 대한 연구와 표준화 작업이 활발하게 추진되고 있다. 트래픽의 증가는 인터넷 네트워크 측면에서 새로운 백본망과 하부구조를 요구하는데, 그 구축 방안 중의 하나로 Layer 3에서 수행하던 IP 라우팅 및 전송 기능을 분리하여 라우팅 기능은 기존 라우터의 IP 계층상의 Layer 3 라우팅 기능 이용하고, 전송 기능은 ATM(Asynchronous Transfer Mode)과 같은 고속의 Layer 2 스위칭 기능을 이용하여 IP 패킷을

전송할 수 있도록 한 MPLS(Multiprotocol Label Switching)가 부각되고 있다. 도시바의 CSR(Cell Switch Router), 입실론사의 IP switching, Cisco의 Tag switching, IBM의 ARIS 등과 같이 이 기능을 수행하는 새로운 라우팅 패러다임이 연구되었으며, MPLS 기능을 구현하는 장비도 많이 출시되었다. 이에 따라 서로 다른 벤더의 장비 사이에 연동을 위해 1996년 12월에 IETF에 MPLS Working Group이 채택되어 1999년 현재 20여종 working group draft와 다수의 personal draft 표준화가 진행 중이다.[1][2][3].

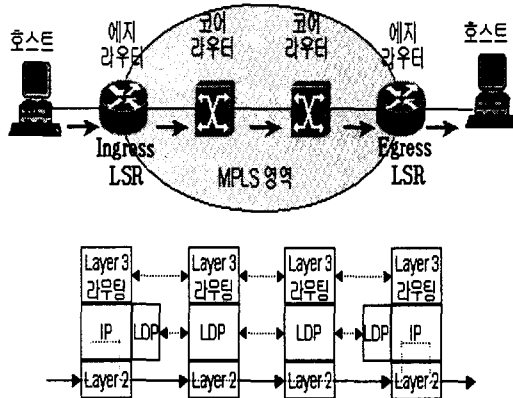
IETF에 비해 상대적으로 인터넷 표준화 연구 활동이 위축되었던 ATM Forum에서도 기존의 LANE(LAN Emulation)이나 MPOA(Multiprotocol over ATM) 같은 오버레이 모델 연구에 더 이상 집착하지 않고 1999년 7월에 AIC(ATM/IP Collaboration) 연구반을 설립하여 MPLS를 ATM 상에서 효과적으로 수용할 수 있는 방안을 연구하고 있다.

본 논문은 2장에서 차세대 IP 패킷 전송 기술로 자리를 잡아가는 MPLS의 트래픽 엔지니어링에 관하여 설명하고, 3장에서는 MPLS망에서 CR-LDP (Constraint-based Routing - Label Distribution Protocol)에 기반한 ER-LSP (Explicit route Label-switched path)

설정 및 복구 과정을 시뮬레이션하여 IP 패킷 전송 과정을 살펴본 후 결과를 분석 하고, 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. MPLS 트래픽 엔지니어링

2.1 MPLS의 개념



[그림 16] MPLS망 구성

MPLS에서 스위칭 기능을 제공하는 라우터를 LSR(Label Switch Router)로 정의하며, LSR은 적용 위치에 따라 MPLS 에지 라우터 및 MPLS 코어 라우터로 구분한다. [그림 1]과 같이 Ingress LSR에서는 IP 패킷의 주소값으로 패킷이 전달될 경로에 할당된 레이블 값을 검색하여 이 값을 헤더로 하는 패킷을 망으로 전달한다. 코어 라우터에서는 레이블에 의해서 출력 경로를 선택하고 레이블 값을 검색된 출력 레이블로 교환하는 단순한 기능만을 수행한다. Egress LSR에서는 패킷의 IP 주소값을 추출하여 목적지로 패킷 전송을 한다. 에지 라우터와 코어 라우터 모두 IP 라우팅 프로토콜과 LDP(Label Distribution Protocol)에 의해 IP 패킷이 전달될 경로를 설정하고 레이블을 할당한다.[4][5].

기존의 라우터는 포워딩 테이블을 만드는 패킷 교환 기능과 라우팅 테이블을 만드는 IP 라우팅 기능이 밀접하게 결합되어 있다. 그러나 MPLS에서는 IP 패킷 교환 기능과 IP 라우팅 기능이 명확하게 분리되어 각각의 기능을 별개로 발전시킬 수 있을 뿐만 아니라 IP 패킷 전

달기능을 Layer 2의 ATM 스위치, 프레임 릴레이 스위치, 이더넷 스위치를 그대로 활용할 수 있다는 장점을 가진다. MPLS에서 레이블은 목적지 정보뿐만 아니라 서비스 클래스 정보, 특정 트래픽 전달을 위한 explicit 경로 정보, VPN(Virtual Private Network) 구성을 위한 터널링 정보들이 함축되어 다양한 기능을 발휘할 수 있으므로, MPLS는 고품질, 고기능의 차세대 인터넷 서비스를 위한 기반 기술로 자리잡아 가고 있다.

MPLS 기반의 IP 전송을 이용한 인터넷의 특징은 IP over ATM 방식에 비해 라우팅 프로토콜 오버헤드 및 가상연결의 수를 감소시킬 수 있으므로 확장성이 우수하게 되어 대용량의 망 구성이 용이하고, 망내에서 특정 전달경로 선택할 수 있는 explicit routing 기능과 망내 트래픽 부하 상태에 따라 적절한 QoS 전달 경로를 선택할 수 있도록 하는 Constraint-based Routing을 제공하므로 다양한 사용자 요구를 만족시킬 수 있는 서비스 제공이 가능하며 레이블에 목적지뿐만 아니라 서비스 등급의 의미를 부여할 수 있으므로 IP QoS 제공이 용이하다. 또한 레이블에 의한 터널링 기능을 제공할 수 있으므로 이를 이용한 VPN 서비스 제공이 용이하다. 특히 이종망간에도 MPLS 연동이 자연스럽게 이루어지도록 되어 있기 때문에 MPLS는 다양한 전달망에서 IP 전달을 위한 공통의 제어 프로토콜의 역할을 수행하게 될 것이다.

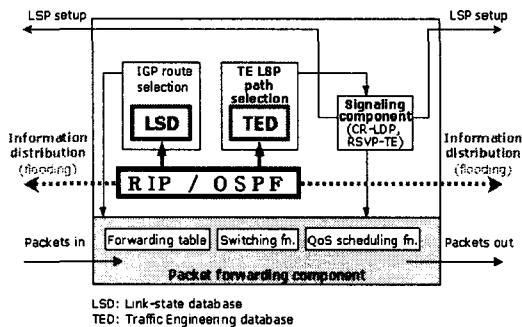
2.2 트래픽 엔지니어링

MPLS traffic engineering 아키텍처는 Information distribution component 와 Path selection component, Signaling component, Packet forwarding component 라는 4가지 독립적인 모듈로 구현되는 기능요소로 이루어진다. 이러한 modularity는 각 요소에 진보된 솔루션이 생기게 되면 그 기능 요소만 변경하면 되므로 유연성 측면에서 장점을 갖고있다.[6].

Information distribution은 AS(Autonomous Systems)내의 LSRs에게 네트워크 정보를 분배 해주는 과정이다. 효과적인 트래픽 엔지니어링

어령을 위해서 사용자가 요구하는 서비스 품질 정도뿐만 아니라, 현재의 각 링크의 여유 대역폭과 같은 네트워크 부하 상태 정보와 네트워크 구성, 상태, 각 링크 cost 등의 네트워크 토폴로지 정보가 필요하며, MPLS 네트워크 내의 모든 LSR은 이러한 정보를 알고 있어야 한다. 따라서, 이러한 부하상태정보와 토폴로지 정보를 모든 LSR들에게 분배/전달(distribution)해주는 방법이 정의되어야 한다.

MPLS에서는 토폴로지 정보를 가진 IGP(Interior Gateway Protocol)에 트래픽 엔지니어링에 필요한 현재 네트워크 각 LSR의 output link에 관한 정보(링크의 최대 대역폭, 현재 다른 LSP에 의해 예약된 대역폭, 예약 가능 대역폭 등)를 link-state와 함께 알게하도록 IGP를 확장해주면 되는데 이를 IGP extension이라 한다. Link-state IGP는 네트워크 토폴로지 정보와 링크 속성 정보가 합쳐진 정보를 플러딩하여, MPLS 네트워크 내의 모든 LSRs에게 전달/분배한다. 각 LSR은 TED(Traffic Engineering Database)에 네트워크 토폴로지 정보와 네트워크 링크 속성 정보를 저장해 두며, LSP에 대한 explicit route를 계산할 때 이 TED를 이용한다.[7][8].



[그림 17] MPLS traffic engineering architecture

Information distribution 과정이 끝나면 ingress LSR은 이 TED를 이용하여 LSP에 대한 MPLS 네트워크상의 물리적인 경로를 계산한다. Ingress LSR은 CSPF (Constrained Shortes Path First) 알고리즘을 TED내의 정보에 적용하여 각 LSP에 대한 물리적인 경로

를 결정한다. CSPF 알고리즘은 특정한 제약 조건을 만족시키면서 새로이 설정할 LSP에 대해 MPLS 네트워크상에 존재하는 경로 중에서 ingress LSR과 egress LSR간에 최단 경로를 찾아내는 알고리즘이다. CSPF 알고리즘의 결과로서 explicit route가 나오는 데, 이 explicit route는 LSP를 설정하려는 ingress LSR에서 목적지 egress LSR까지의 LSP상의 LSRs의 집합으로 ER-LSP라 정의된다. 이 ER-LSP는 signaling component로 전달되고, signaling component는 이 LSP상의 LSR에 이 LSP에 대한 forwarding state를 설정한다.

Signaling component는 path selection component가 계산한 explicit route상의 LSRs에게 LSP에 대한 연결 설정을 요청하고 forwarding state를 설정하며 레이블을 분배하는 기능을 수행한다. 분배 방식은 CR-LDP(Constraint-based Routing)와 RSVP-TE (Traffic Engineering) 두 가지 방식이 제안되어 왔는데 ITU-T에서는 LDP의 확장이라는 점과 프로토콜 신뢰성이 높은 점, 확장성이 우수한 점, ATM과의 연동면에서 유리하다는 점을 들어 '99년 9월 ITU-T 회의에서 CR-LDP 방식을 표준으로 채택하였다. CR-LDP는 기존의 LDP(label distribution protocol)을 확장한 것으로 Explicit route 정보, 자원예약을 위한 Traffic parameter 정보 그리고 ER-LSP의 장애 복구에 대한 옵션정보 등에 대한 Object를 추가하여 만든 것이다.

Packet forwarding component는 IP 패킷의 플로우(flow)를 MPLS 네트워크상에 LSP를 따라 전달하는 역할을 담당한다. Ingress LSR에 IP 패킷이 도착하면, LSR은 MPLS 헤더를 부착하고 해당 LSP상의 next LSR로 포워딩한다. 이 패킷을 labeled packet이라고 불리우며, 이 labeled packet은 LSP상의 LSRs에서 label값을 참조하여 포워딩되며, 최종적으로 egress LSR에 도착한다. 여기서, MPLS 헤더는 제거되며 IP 패킷이 추출된다. 이 IP 패킷은 그 패킷의 destination IP address를 참조하여 다음 라우터로 포워딩된다.

labeled packet에는 32비트의 인캡슐레이션 헤더가 부착되는 데, 이 중 20 비트가 레이블

필드이다. labeled packet이 LSR에 도착하면, LSR은 이 label값을 인덱스로 하여 (incoming interface, incoming label, corresponding outgoing interface, corresponding outgoing label) 형식의 엔트리로 채워진 LSD(Label Switched Database) lookup 과정을 거쳐 next hop을 찾아낸다. MPLS가 출현할 때만 해도 통상적으로 프로세서를 기반으로 수행하는 IP address lookup은 저속이고, 고정 길이의 레이블에 대한 Exact matching은 하드웨어적으로 수행되어 MPLS의 새로운 포워딩 패러다임은 라우터 기반의 IP 네트워크에 비해 고속 포워딩이 가능하며, 이것이 MPLS의 장점으로 내세워졌었다. 그러나, 현재는 기가/테라비트 라우터의 등장으로 속도에 관한 의미는 많이 퇴색하였다.

3. CR-LDP에 기반한 ER-LSP 설정 시뮬레이션

시뮬레이션은 [그림 3]과 같이 네트워크가 구성되어 있고 호스트 0에서 호스트 8로 IP패킷을 전송하며, 전 노드에서 전송속도는 같은 것으로 가상하여 네트워크 환경을 설정하였다. 결과를 살펴보면 [그림 4.a)는 AS내의 LSRs에게 네트워크 정보를 분배 해주는 과정인 Information distribution이 이뤄지며, 네트워크 토폴로지 정보와 링크 속성 정보가 합쳐진 IGP extension에 의하여 정보는 LSRs의 TED에 저장된다.

[그림 4.b)에서 ingress LSR은 TED를 이용하여 Constraint route 8개(1*2*2*2*1) 중 CSPF 알고리즘에 의해 ER-LSP를 설정한 후 CR-LDP를 적용하여 ER-LSP 사이의 LSR에 레이블 설정을 요청하고 전 LSR에 변경된 정보를 분배/전달한다.

[그림 4.c)에서는 설정된 ER-LSP에 의해 host 0 → LSR 1 → LSR 3 → LSR 5 → LSR 7 → host 8의 경로를 통해 packet forwarding이 이뤄지며 이 때 LSR 1이 ingress LSR이 되고 LSR 7이 egress LSR이 된다.

[그림 4.d)는 ER-LSP 경로 중에서 LSR 3과

LSR 5 사이에 장애가 발생하여 부분적으로 down이 되는 것을 보여주고 있다.

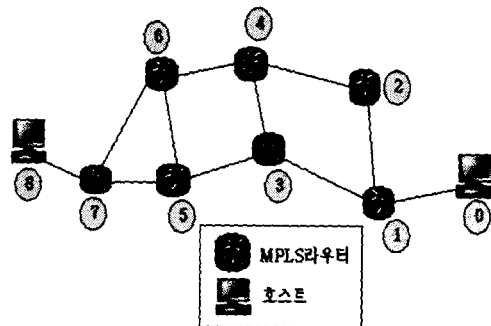
[그림 4.e)에서 LSR 3과 LSR 5 사이에 발생한 장애 정보가 CR-LDP에 의해 전 노드로 전송이 되면 ingress LSR의 TED의 정보에 의하여 다른 Constraint route를 통해 packet forwarding을 시도하며 한 편으로는 새로운 LSP 설정을 모색한다. 이 때 LSR 3과 LSR 5 사이에서는 packet이 폐기되는 것을 볼 수 있다.

[그림 4.f)에서는 원래의 LSP에 비해 고 cost인 host 0 → LSR 1 → LSR 3 → LSR 4 → LSR 6 → LSR 7 → host 8로 연결되는 새로운 LSP가 설정되어 packet forwarding이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

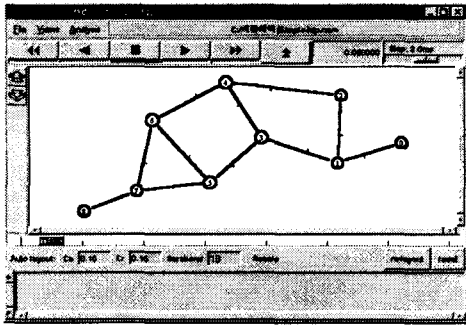
[그림 4.g)에서 LSR 3과 LSR 5 사이의 장애가 복구되면 link-state IGP를 이용해 복구 정보를 LSRs에 보내고 ER-LSP상의 LSR에 CR-LDP에 의한 레이블 재설정 이 시도된다.

[그림 4.h)에서는 CSPF 알고리즘에 의한 원래 LSP로 경로가 설정되고, egress LSR인 LSR 7에서는 잠시동안 LSR 6과 LSR 5를 통해 동시에 packet forwarding이 이뤄진다.

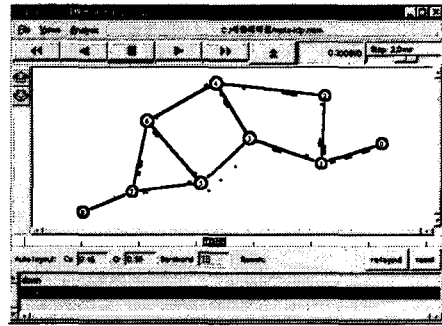
[그림 4.i)은 네트워크가 안정된 상태로 ER-LSP를 통해 정상적인 packet forwarding이 이루어지고 있음을 보여준다.



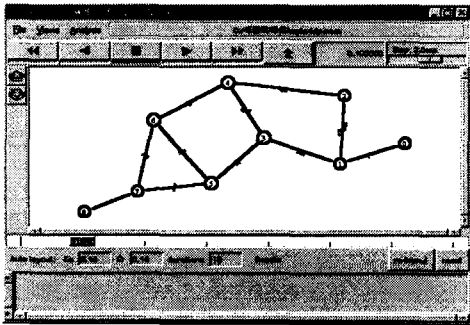
[그림 18] 시뮬레이션 네트워크 구성도



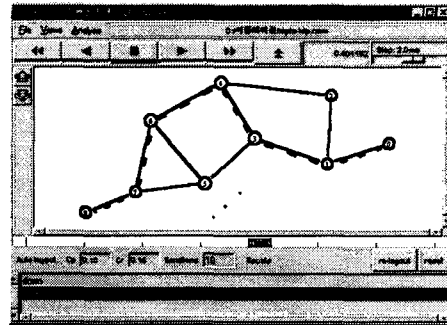
[그림 4.a] $t=0.05$ [sec]



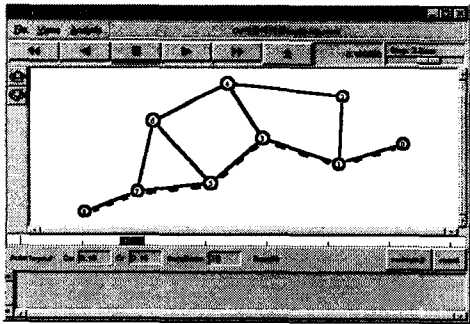
[그림 4.e] $t=0.33$ [sec]



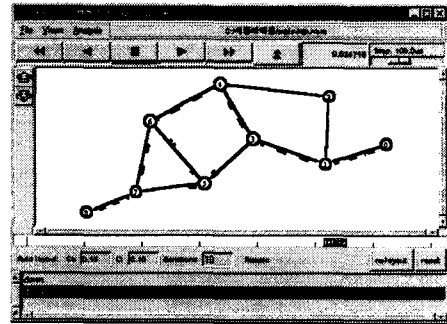
[그림 4.b] $t=0.10$ [sec]



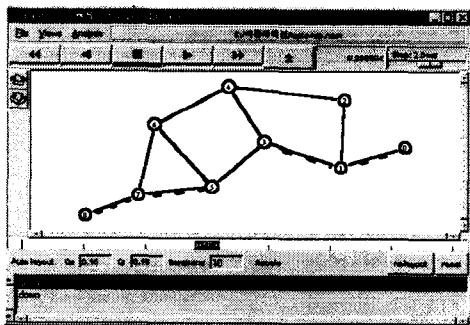
[그림 4.f] $t=0.40$ [sec]



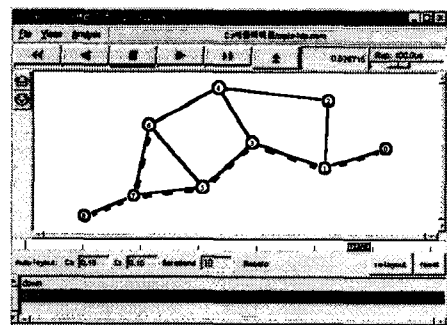
[그림 4.c] $t=0.18$ [sec]



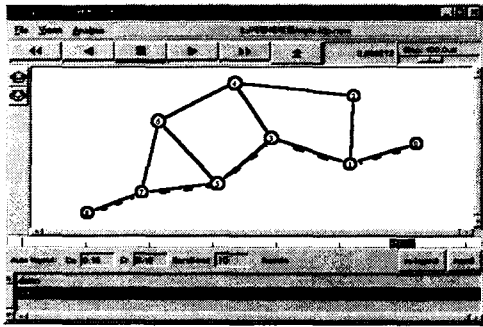
[그림 4.g] $t=0.534$ [sec]



[그림 4.d] $t=0.30$ [sec]



[그림 4.h] $t=0.576$ [sec]



[그림 4.i] t=0.60 [sec]

4. 결론

본 논문에서는 작은 고정길이의 레이블에 의해 IP 패킷 forwarding을 수행하도록 하여 라우터에 비해 IP 패킷 처리 성능을 향상시키는 방안으로 제안된 MPLS에 대한 장점과 특징에 대해 살펴보고, MPLS망에서의 트래픽 엔지니어링에 대해서는 LDP 방식을 확장한 CR-LDP 방식과 ER-LSP 설정 과정을 중심으로 4개의 독립적인 기능요소로 나누어 설명하였다. MPLS망에서 CR-LDP를 기반으로 하는 ER-LSP 설정 및 장애 복구 과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 MPLS망에서 IP 패킷 전송 과정을 분석하였다. 본 시뮬레이션 과정을 통해 MPLS에서 LSP 설정 과정이 어떻게 이뤄지는지를 알아보았다. 그러나 실제 네트워크에서는 더 많은 변수의 설정을 위한 복잡한 가정이 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] 손장우, Juniper's MPLS traffic engineering architecture, Network mania, 2000.
- [2] 한국전자통신연구소, MPLS 기술개론, Dec 1999.
- [3] 한국전자통신연구소, 공중 ATM망에서의 IP 전송기술 동향, ETRI 주간기술동향 924호, Dec 1999.

- [4] 전병천, MPLS System & LER, May 1999.
- [5] IETF, Constraint-based LSP Setup using LDP (draft-ietf-mpls-ldp-01.txt), Feb 1999.
- [6] IETF, LDP Specification, draft-ietf-mpls-ldp-05.txt, June 1999.
- [7] IETF, Constraint-Based LSP Setup using LDP, draft-ietf-mpls-ldp-02.txt, Aug 1999.
- [8] IETF rfc 2702, Requirements for Traffic Engineering Over MPLS, Sep 1999.
- [9] 이준우, IP switching과 Tag switching분석, Network mania, 1999.
- [10] 이문호, 실용 디지털 통신, 도서출판 영일, 1998.