

인터넷망의 MPLS 트래픽 엔지니어링 기술 동향

Analysis of MPLS Traffic Engineering on Internet

정민영(M.Y. Chung) MPLS 응용팀 선임연구원
양선희(S.H. Yang) MPLS 응용팀 선임연구원, 팀장
이유경(Y.K. Lee) 인터넷기술연구부 책임연구원, 부장

본 논문에서 차세대 인터넷에서 고품질 서비스를 제공할 수 있는 MPLS 트래픽 엔지니어링의 핵심기술 및 MPLS 시스템의 개발 동향에 대하여 살펴본다. MPLS 트래픽 엔지니어링을 위한 주요 기능으로는 QoS Path 계산/MPLS 신호 프로토콜/QoS 패킷 분류와 분배 기능 등이 있다. QoS Path 계산은 Off-line 과 On-line 방식을 통하여 최적의 QoS 경로를 선택하는 기능으로 상호 보완적인 관계에 있으며, MPLS 신호 프로토콜은 LDP에 기반한 CR-LDP와 RSVP에 기반한 RSVP-TE의 두 가지 프로토콜이 IETF에서 표준화 진행중에 있으나 지속적인 보완으로 기술적 우열을 가리기 어려운 상태에 있다. 향후 중점 연구 및 개발 사항으로 네트워크 장애시의 빠른 경로 복구와 부하 분산 등을 통해 네트워크 운용 및 서비스 신뢰도 향상시킬 수 있는 ER-LSP Protection 방법에 대한 연구 및 MPLS 트래픽 엔지니어링을 통한 인터넷망의 고속화 및 안정화를 위해서는 트래픽 엔지니어링 서버에 대한 개발이 요구된다. 또한, QoS 패킷의 분류 및 다양한 응용 서비스 제공을 위해서는 네트워크 프로세스를 이용한 고성능 전달 엔진에 대한 연구가 절실히 요구된다.

1. 서론

초기 FTP, E-mail 등과 같은 단순 데이터 전송을 위한 네트워크로 사용되던 인터넷망은 웹 브라우저 기술의 등장으로 일반 사용자에게 보다 친숙한 인터넷망으로 등장하게 되었다. 이에 힘입어 '90년대 중반 이후 인터넷 수요가 급속히 증가하면서 인터넷망은 고속화(대용량화) 및 최선형 서비스 제공에서 탈피한 다양한 종류의 고품질 서비스 제공이라는 큰 기술적 변화를 맞이하고 있다. 특히 VPN(Virtual Private Network)이나 전자상거래와 같이 인터넷이 기업 활동의 기반 시설로 빠르게 확산되면서 서비스 품질과 네트워크 신뢰도 향상에 대한 요구가 높아지고 있으나, 현재의 인터넷은 이러한 요구를 충족시키지 못하고 있는 실정이다.

이에 따라 ISP들은 고품질 인터넷 서비스를 안정적으로 제공할 수 있는 인터넷망 구축이라는 당면 과제를 해결하기 위해 많은 투자를 하고 있다. 통신사업자들은 인터넷 서비스 수용을 위해 ATM 교환망을 이용한 overlay 구조로 망을 개선하거나 네트워크 용량을 필요 이상으로 확장함으로써 인터넷 트래픽 증가에 대응하고 있다[1]. 그러나 이러한 노력은 급속히 증가하는(연간 100~1,000% 이상) 인터넷 트래픽을 수용하기에는 경제적/기술적 한계에 직면하고 있다. 또한, 인터넷 사용자는 기존 최선형 서비스 보다 더욱 좋은 품질의 인터넷 서비스를 안정적으로 제공받기를 희망하고 있다. 이에 따라 ISP들은 한정된 망 자원을 이용하여 동적으로 바뀌는 IP 트래픽을 효과적으로 처리할 수 있고 가입자에게

QoS(Quality of Services)를 차별적으로 지원함으로써 수익성을 극대화할 수 있는 IP 트래픽 엔지니어링 기술에 관심을 가지고 있으며, 트래픽 엔지니어링 기술을 이용하여 급속하게 확장되고 있는 인터넷망을 효과적으로 운용/관리하고, 네트워크 장애 발생시 신속한 복구가 가능한 네트워크 구조로의 진화를 추진하려는 입장에 있다[2].

MPLS(Multi Protocol Label Switching) 기술은 비연결형으로 동작하는 인터넷망 내에 논리 채널인 LSP(Label Switched Path)를 연결형으로 구성하고 이들 LSP를 인터넷 트래픽이 경유하여 목적지에 도달하게 함으로써 인터넷 트래픽의 흐름 제어를 가능하게 한다[3-6]. MPLS 트래픽 엔지니어링 기술은 ER-LSP(Explicit Routed-LSP) 경로 설정 기능과 IP 트래픽에 대한 플로우 세분(packet categorization) 기능에 의해 트래픽의 특성을 고려한 논리적 데이터 채널들을 구성하고, 각 논리적 채널에 대한 자원 할당과 트래픽 흐름을 제어함으로써 기존에는 불가능한 IP 트래픽 처리에 대한 제어와 이를 통한 가입자 QoS의 차별적 제공을 가능하게 한다[7-9]. 기능적으로는 QoS 경로 제어와 전달 엔진에서의 트래픽 플로우의 분류 및 분배, 그리고 네트워크 성능에 대한 감시 및 상태 변화에 따른 지속적인 최적화 기능 등으로 구성된다[10-12].

MPLS 트래픽 엔지니어링 기술을 이용하여 고품질 프리미엄 VoIP 서비스나 QoS 보장형 VPN 서비스 제공 등 초고속 IP 서비스가 가능하며, 네트워크 장애시의 빠른 경로 복구와 부하 분산 등을 통해 네트워크 운용 및 서비스 신뢰도 향상이 가능해진다.

본 논문에서는 차세대 인터넷에서 고품질 서비스를 제공할 수 있는 MPLS 트래픽 엔지니어링의 핵심기술과 MPLS 시스템 개발 동향에 대하여 살펴본다. II장에서는 MPLS 트래픽 엔지니어링에 대한 개요를 설명하고, III장에서는 QoS Path 계산/MPLS 신호 프로토콜/QoS 패킷 분류와 분배 기능과 같은 주요 기능에 대하여 기술한다. IV장에서는 MPLS 시스템 개발 동향을 살펴보고, V장에서 결론을 맺는다.

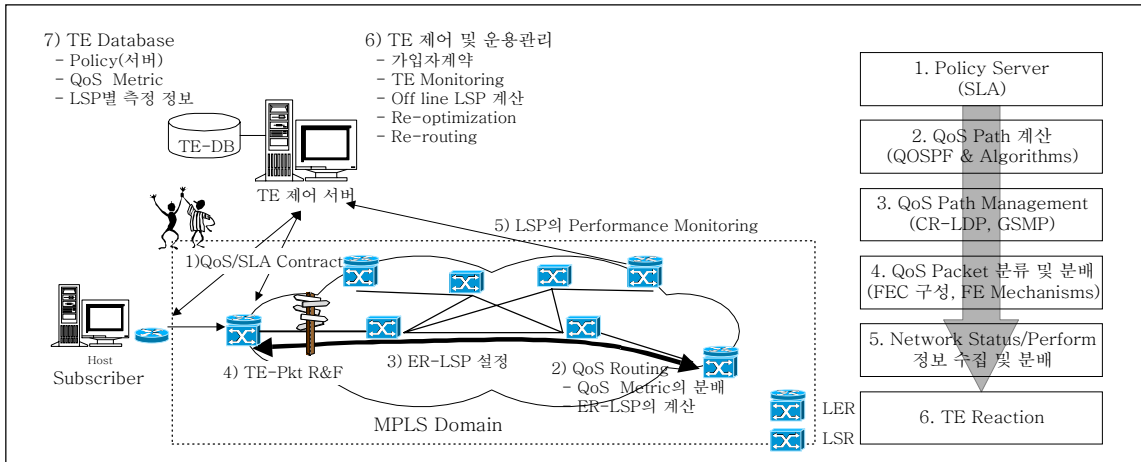
II. MPLS 트래픽 엔지니어링 개요

MPLS는 기존의 hop-by-hop 라우팅에 의해 전달되는 IP 패킷을 네트워크 입/출력 노드에서만 L3 라우팅을 처리하고, 코어에서는 레이블을 이용한 고속 L2 스위칭에 의해 패킷을 전달하는 기술로 IP 라우팅 성능과 확장성을 개선하고, explicit 라우팅과 트래픽 엔지니어링을 제공할 수 있도록 한 차세대 IP 네트워크 기술이다. 패킷 헤더에 부착된 레이블은 망 내에서 패킷이 전달되어야 하는 경로나 혹은 QoS와 같은 트래픽 특성을 나타낼 수 있다.

MPLS를 이용한 차세대 인터넷 구조에서는 traffic-engineered path를 사용하여 기존 인터넷망에서 불가능한 IP 트래픽 처리에 대한 제어와 이를 통한 가입자 QoS의 차별적 제공이 가능하다. 또한, Intelligent Edge/Simple Core 구조로서 네트워크의 구성 및 운용을 효율적으로 관리하는 것이 가능하다.

MPLS 트래픽 엔지니어링 기술은 MPLS 망 내에서 서비스 요구나 망사업자의 자원 사용 정책을 반영한 traffic-engineered path(explicit routed path)를 설정하고, 입력단에서 MPLS 망으로 유입되는 트래픽을 특성에 따라 분류하여 적절한 LSP로 분배해주는 메커니즘을 바탕으로 한다. 따라서 기능적으로는 서비스 품질 요구사항을 만족하는 경로를 찾는 constraint-based routing, 찾아낸 경로를 따라 자원을 예약하기 위한 신호 기능, 트래픽의 종류에 따라 트래픽 플로우를 최적으로 분류 및 분배하는 기능 그리고 네트워크 상태 변화를 모니터링하여 지속적으로 re-optimization하는 기능 등으로 구성된다. (그림 1)은 MPLS 트래픽 엔지니어링 기능에 대한 네트워크 기능구조를 보여주고 있으며 전체적인 동작 절차는 다음과 같다.

- 가입자는 망사업자와 서비스사용에 대한 SLA(Service Level Agreement) 계약을 맺는다. 계약 내용에는 서비스의 종류, 서비스별 요구 품질(요구대역, 지연, 지연변이, 손실 등)을 포함한다.
- 서비스 계약이 이루어지면 SLA와 망사업자의 자



(그림 1) MPLS Traffic Engineering Functional Architecture

원 사용 정책을 고려하여, 계약 내용을 만족시킬 수 있는 경로(constrained routed path)를 찾는다.

- CR-LDP나 RSVP-TE와 같은 신호 프로토콜을 이용하여 explicit routed LSP를 설정한다[13, 14].
- MPLS 망으로 유입되는 트래픽에 대해 트래픽 특성과 SLA를 고려하여 IP 패킷을 분류한 다음 적합한 LSP 혹은 ER-LSP로 분배한다.
- Traffic-engineered path에 대해서는 지속적으로 계약된 성능을 만족시키는지를 감시하고, 필요시에는 재 라우팅이나 대역폭 증감과 같은 re-optimization을 지속적으로 수행한다.
- 트래픽 제어 서버(Policy Server)는 SLA 프로파일, QoS 정책, LSP별 품질 정보, QoS Metric과 같은 트래픽 엔지니어링 데이터베이스를 총괄 관리하고, 이를 이용하여 경로 계산, 부하 분산, 재 라우팅 등의 트래픽 엔지니어링 제어 기능을 네트워크 전반에 대해 수행한다.

III. MPLS 트래픽 엔지니어링 주요 기능

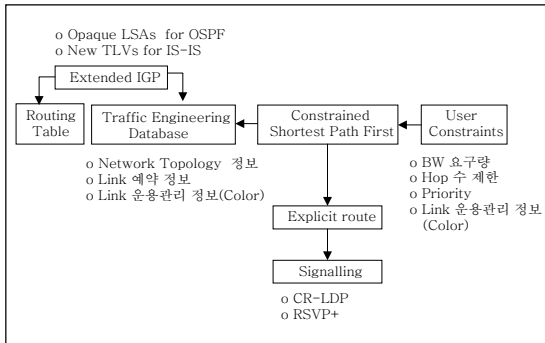
MPLS 트래픽 엔지니어링의 핵심기술은 크게 서비스 QoS 요구사항이나 망사업자의 QoS 정책을 만족시킬 수 있는 경로 선택 기능, 선택된 경로의 설정을 위한 신호 기능, 패킷 입력 노드에서의 패킷의 분

류 및 적정 경로로의 패킷 분배, 각 노드에서의 트래픽 전달시의 큐잉 제어 등 네 가지 기능으로 구성된다.

1. QoS Path Computation

가입자와의 QoS 계약 내용과 망사업자의 자원 사용 정책을 고려하여 계약 내용을 만족시킬 수 있는 경로를 설정하기 위해서는 constrained routes를 찾는 것이 선행되어야 한다. Constrained routes는 IGP 라우팅 프로토콜에 의해 수집된 네트워크의 연결 정보를 근간으로 찾아지는 단일 SPF 경로와 달리, 네트워크 자원의 최근 상태 정보와 가입자 및 망운영자의 자원 사용 정책을 만족시킬 수 있는 경로이다. Constrained routes를 찾아내기 위해서는 QoS 라우팅 프로토콜을 이용하는 on-line 경로 계산 방법이나 혹은 off-line 방법으로 계산할 수 있다.

On-line path computation은 (그림 2)와 같이 QoS 라우팅 프로토콜을 이용하여 QoS Metric을 수집 분배하고, 이를 이용하여 특정 제한 사항을 만족시키는 경로를 찾는 CSPF(Constrained Shortest Path First) 알고리즘으로 구성된다. QoS Metric은 링크 총 대역폭, 예약된 대역폭, 예약 가능한 대역폭, 링크 컬러, 전달 지연 등 네트워크의 최신 상태에 대한 정보로 구성된다. 사용자 제한 사항은 요구 대역폭, 허용 가능 최대 홉 수, 설정 및 유지 우선순위,



(그림 2) Constrained-based routing 기능

링크 운용 관리 정보 등 가입자나 운용자의 자원 사용에 대한 제한 사항을 포함한다. IETF에서는 이와 같은 추가적인 QoS Metric을 전달할 수 있도록 기존의 OSPF 및 IS-IS 라우팅 프로토콜을 확장하여 QOSPF 및 IS-IS 확장 프로토콜을 발표하였다.

(그림 2)는 on-line constrained-based routing 기능의 동작을 전체적으로 보여준다. 확장 IGP 프로토콜은 기존의 네트워크 토폴로지 정보와 확장된 트래픽 엔지니어링 데이터베이스를 수집, 분배하고, CSPF 알고리즘은 사용자 제한 사항을 반영하여 최적 경로를 explicit하게 결정한다. 경로가 결정되면 ER-LSP 설정을 지원하는 신호 프로토콜을 이용하여 Ingress LSR에서 Egress LSR까지 경로가 설정된다. 일반적인 MPLS 동작에서와 마찬가지로 네트워크 도달성 정보가 변경되는 경우에는 CSPF 알고리즘이 새로이 동작하여 explicit 경로가 새로이 설정된다.

Off-line path computation 방법은 네트워크 자원 상태와 트래픽의 흐름을 고려하여 운용자가 경로를 결정하는 것이다. 이 방법은 ATM overlay 구조에서 PVC 경로를 결정하는 것과 유사하며 자원 사용의 전체적인 최적화가 가능하다. 운용자가 네트워크 동작이 예측 가능하도록 ER-LSP를 배치할 수 있어서 안정성이 우수한 대신에 동적으로 바뀌는 트래픽에 효과적으로 대응하는 데에는 한계가 있다. Off-line path computation을 위해서는 네트워크 토폴로지 정보와 네트워크 트래픽 상태 정보의 수집이 서

비에서 이루어져야 하며, 경로 내에 loop 방지와 같은 IP 경로 선택을 위한 의사 결정 지원 도구가 요구된다.

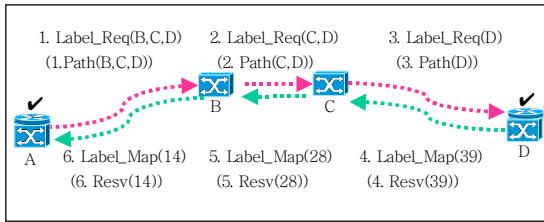
Constrained routes를 찾아내는 기능은 QoS 라우팅 프로토콜을 이용하든 혹은 off-line으로 운용자에 의해 경로를 결정하든 매우 복잡하며, 실현하는데 여러 가지 현실적 문제가 있는 상태로서 아직은 초기 연구 단계에 있다.

2. MPLS 신호 프로토콜

ER-LSP 경로가 결정되면 신호 프로토콜을 이용하여 해당되는 노드들간에 연결을 설정해야 한다. MPLS 신호 프로토콜은 ATM 신호 프로토콜과 마찬가지로 레이블의 분배, explicit route 정보의 전달, 대역폭을 포함한 트래픽 파라미터의 전달 및 Pre-emption이나 우선순위와 같은 연결 설정에 필요한 부가적인 정보들을 인접 노드들간에 전달하는 역할을 한다. MPLS 신호 프로토콜은 신뢰성(robustness), 확장성, QoS 지원을 할 수 있어야 하며, 이외에도 연결 설정 및 유지 우선순위, Preemption, 멀티캐스팅, 대체경로 설정 등을 지원할 수 있어야 한다. 현재 ER-LSP 경로 설정을 위해 CR-LDP와 RSVP-TE의 두 규격이 같이 사용되고 있다[13, 14].

CR-LDP는 LSP 설정 메시지 내에 explicit route 정보와 트래픽 파라미터를 전달할 수 있도록 LDP를 확장한 프로토콜로서, TCP를 이용하여 신호 메시지를 교환한다. ER-LSP 설정은 (그림 3)에서 처럼 미리 결정된 경로를 따라 Label Request 및 Label Mapping 메시지를 한 바퀴 교환함에 따라 연결이 설정되는데, 실제 자원 예약은 Label Request가 진행될 때(순방향) hard-state로 이루어진다. CR-LDP에서 지원하는 트래픽 파라미터는 Peak rate(PDR, PBS), Committed Rate(CDR, CBS), Excess Burst Size, Frequency, Weight 등이다.

한편, RSVP-TE는 IntServ 신호 프로토콜로 사용되던 RSVP를 확장하여 explicit route 정보와 label 정보 전달을 지원하는데 기능적으로 CR-LDP와



(그림 3) CR-LDP 및 RSVP-TE 의 연결설정 과정

유사하다. CR-LDP와 달리 RSVP-TE는 raw IP를 이용하여 신호 메시지를 교환한다. ER-LSP 설정은 (그림 3)에서 처럼 미리 결정된 경로를 따라 Path와 Resv 메시지를 한 바퀴 교환함에 따라 연결이 설정되는데, 실제 자원 예약은 Resv가 진행될 때인 역방향 예약이 soft-state로 이루어진다. RSVP-TE에서는 기존의 Tspec과 Flowspec 트래픽 파라미터를 그대로 사용한다.

<표 1>은 CR-LDP와 RSVP-TE의 주요 기술적

특성과 장·단점을 비교 분석한 것이다[13-15]. 현재 IETF에서는 양쪽 프로토콜의 표준화가 동시에 진행중이며, 각기 8종의 RFC가 상정되어 검토 보완중이다. CR-LDP의 경우에는 상대적으로 확장성이 우수하고, 전달 프로토콜로서 신뢰성 있는 TCP 프로토콜을 사용한다는 장점을 갖고 있으나, RSVP-TE에 비해 시장에서 늦게 받아들여지고 있다. 이에 비해 RSVP-TE는 soft-state 프로토콜로서 확장성이 떨어지는 대신에 기존의 RSVP 기술을 가진 벤더들이 선호함에 따라 더 빨리 시장에서 받아들여지고 있다. 두 규격은 지속적으로 보완되고 있으므로 기술적 우위를 논하기는 어려운 상태이며, 대다수 벤더들은 두 규격을 동시에 개발 지원하고 있는 추세이다. 이에 따라 두 규격은 당분간 같이 사용될 것으로 전망되고 있으며, 올 하반기에는 상호 연동성 시험이 본격적으로 이루어질 것으로 전망되고 있다.

<표 1> CR-LDP와 RSVP-TE 프로토콜 특성 비교

특성 비교		CR-LDP	RSVP-TE
기술적 특성	전달프로토콜	TCP(Reliable)	Raw IP(Unreliable)
	기본프로토콜	LDP	RSVP
	연결상태	Hard(Refresh 필요 없음) 확장성이 우수	Soft(주기적으로 Refresh) 확장성 제한되나, 보완되고 있음
	자원예약 제어	Forward 예약	Reverse 예약
	연결설정 메시지	Label Request Label Mapping	Path Resv ResvConf(Optional)
	트래픽 파라미터	Peak rate(PDR, PBS), Committed Rate(CDR, CBS), Excess Burst Size, Frequency, Weight	Tspec, Flowspec.
	기타	Traffic Security(o) 멀티캐스팅(X) LSP merging(o) Re-routing(o) ER-LSP: Strict & Loose Route Pinning(o) LSP Preemption(o) LSP Protection(o)	Security(o) 멀티캐스팅(X) LSP merging(o) Re-routing(o) ER-LSP: Strict & Loose Route Pinning(o) LSP Preemption(o) LSP Protection(o)
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> 확장성이 우수 시장확산이 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 RSVP 프로토콜 확산에 힘입어 시장에 빠르게 확산 	
표준화 및 개발 현황	<ul style="list-style-type: none"> IETF Constraint-Based LSP Setup using LDP를 비롯한 8종 RFC Optical Internet, VPN 등의 적용을 위한 보완 진행중 	<ul style="list-style-type: none"> IETF RFC2205(Resource ReSerVation Protocol)을 비롯한 8종 RFC Optical Internet, MPLS, 확장성 개선 등을 위한 보완 진행중 	

3. QoS 패킷의 분류 및 분배 기능

제어 평면에서 요구되는 constrained routes 설정 기능과 더불어 사용자 평면에서 요구되는 핵심 기능은 유입되는 IP 패킷을 특성에 따라 세분화(classification)하여 적합한 LSP로 분배하는 기능이다. 패킷의 분류 및 분배 기능은 Ingress LSR의 전달 엔진에서 이루어지며 MPLS 망의 처리 성능을 결정짓는 핵심 요소이다.

Ingress LSR의 전달 엔진에서는 유입되는 IP 트래픽의 패킷 헤더 정보를 이용하여 가입자와 서비스 종류에 따라 세분화하고, SLA를 참조하여 conditioning(metering, marking, dropping 등)한 후 다음 노드로 전달한다. (그림 4)는 QoS 패킷의 분류 및 분배 기능의 구성을 보여 주고 있다.

목적지 주소 Prefix에 의해 패킷 경로가 결정되는 기존의 IP 라우팅 방식과 달리 MPLS에서는 IP 패킷 헤더의 프로토콜 정보와 목적지 주소, DSCP (Differentiated Service Code Point) 코드나 port 번호 등 여러 가지 L4 정보를 동시에 고려하여 트래픽을 FEC(Forwarding Equivalence Class)로 세분화한다. 분류된 트래픽은 종류별로 미터링되고, SLA와 운전자 정책을 고려하여, 계약 범위 안에서 트래픽 특성에 따라 레이블과 PHB(Per Hop Behavior)가 결정되고, 버퍼링을 거쳐서 다음 노드로 전달되게 된다.

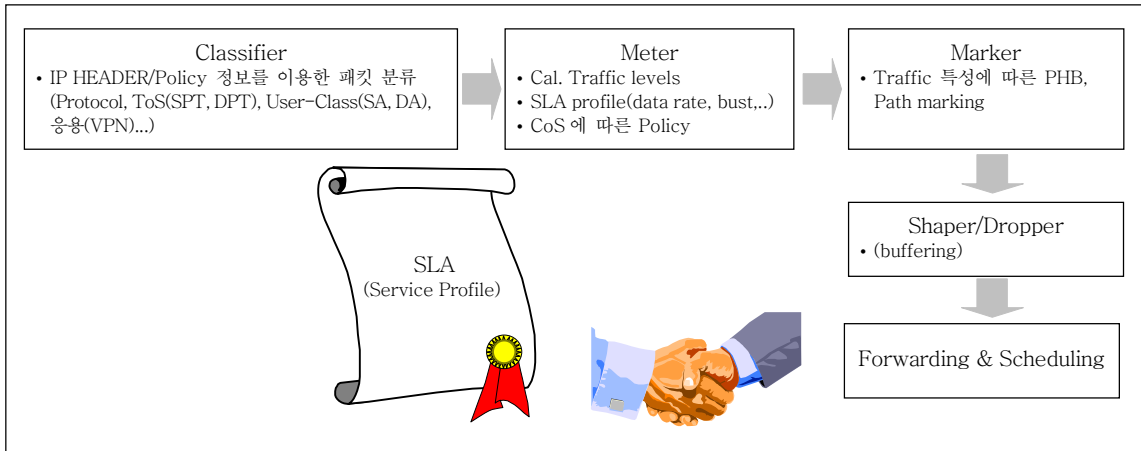
패킷의 분류 및 분배 기능은 망사업자의 서비스 제공 정책과 가입자의 다양한 요구를 유연하게 수용할 수 있는 구조로 실현되어야 한다. 이를 위해서는 패킷 헤더의 멀티 필드를 고속으로 검색하여 패킷을 세분화하고, SLA에 따른 트래픽 컨디셔닝을 효과적으로 수행할 수 있어야 하므로, 고성능 패킷 검색과 유연한 제어 구조가 요구된다. 예를 들면 BGP-4 확장 기능을 이용하는 MPLS-VPN 서비스를 제공하기 위해서는 적어도 80bit 이상의 정보를 이용하여 레이블을 검색할 수 있어야 한다. 이에 따라 최근 네트워크 프로세스를 이용한 고성능 전달 엔진에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

MPLS 망에서 다양한 종류의 서비스 품질을 제

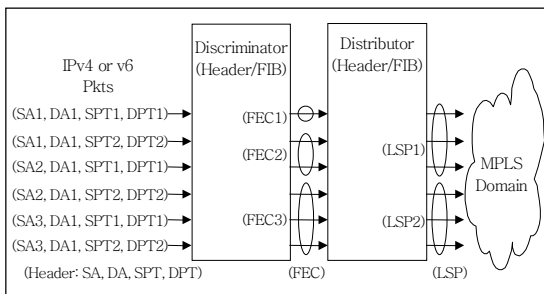
공하기 위해서 Ingress LSR은 패킷을 분류하여 LSP에 대응시키는 기능을 수행하여야 한다. 이러한 기능이 Discriminator와 Distributor에 의해 실현된다고 하면, Discriminator는 IP 패킷 헤더 내(Source Address: SA, Destination Address: DA, Source Port Number: SPT, Destination Port Number: DPT) 대응되는 FEC를 결정하고, Distributor는 FIB 검색을 통해서 이미 결정된 FEC에 대응되는 LSP를 결정하는 기능을 수행한다. (그림 5)는 MPLS 망으로 유입되는 패킷의(SA, DA, SPT, DPT) 값에 따른 LSP 선택 절차에 대한 예를 나타내고 있다. 예를 들어, 동일한 DA(DA1)를 가지는 IP 패킷이라도 SA(SA1, SA2, SA3), SPT, DPT([SPT1,DSP1], [SPT2, DPT2])에 따라 Discriminator에 의해 서로 다른 FEC(FEC1, FEC2, FEC3)로 대응된 후, Distributor를 통해서 서로 다른 LSP(LSP1, LSP2)로 선택되고 분배됨으로써 SA, SPT, DPT에 따라 서로 다른 품질의 서비스를 제공받게 된다.

VoIP의 경우 음성 신호의 경우 G.721, 722, 728의 기법을 사용하는 인코딩된 데이터 정보는 RTP/UDP/IP의 프로토콜로 인캡슐레이션되어 인터넷망으로 유입되는데, 이때 사용되는 port 번호는 피폴트로 5004, 5005를 사용하도록 권장하고 있다[16, 17]. 이 경우 SPT와 DPT를 이용하여 VoIP용 패킷을 분류할 수 있다. 또한, 멀티미디어 컨퍼런스나 인터넷 텔레포니와 같은 서비스를 위한 세션 설정을 위한 SIP(Session Initiation Protocol)의 경우 SIP 서버나 agent에서는 port 번호를 디폴트로 5060을 사용하도록 권고하고 있어, SIP 관련 패킷은 port 번호로 식별 가능할 것으로 생각된다[18]. 따라서, SIP 패킷을 위한 traffic-engineered path를 설정하여 사용하면 빠른 멀티미디어 세션의 설정이 보장될 것으로 생각된다.

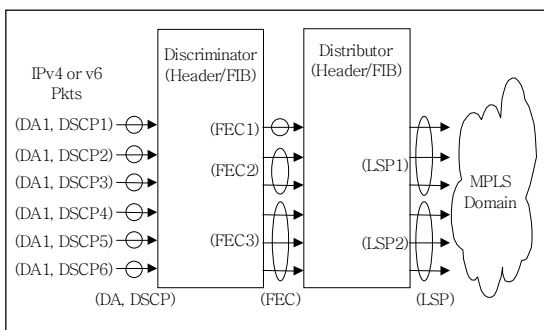
MPLS 망에서 Differentiated Services(DS) 패킷의 처리를 위해 Ingress LSR에는 Discriminator와 Distributor 기능이 요구된다. Discriminator는 IP 패킷 헤더 내(DA, DS Code Point: DSCP)에 대응되는 FEC를 결정하고, Distributor는 결정된 FEC에



(그림 4) QoS 패킷의 분류 및 분배 기능



(그림 5) 일반 패킷의 분류 및 LSP 분배 과정 예



(그림 6) DS 패킷의 분류 및 LSP 분배 과정 예

대응되는 LSP를 결정하는 기능을 수행한다. (그림 6)은 MPLS 망으로 유입되는 DS 패킷의(DA, DSCP) 값에 따른 LSP 선택 절차에 대한 일례를 나타내고 있다. 동일한 DA(DA1)를 가지는 패킷이라도 DSCP 값에 따라 Discriminator에 의해 서로 다른 FEC(FEC1, FEC2, FEC3)로 대응된 후, Distributor에 의해

서 서로 다른 LSP(LSP1, LSP2)로 분배된다.

4. 기타 기능

이 외에 MPLS 트래픽 엔지니어링 핵심 기능으로는 SLA 기능과 각 노드에서의 CBQ(Class Based Queuing) 메커니즘 및 traffic-engineered path에 대한 성능 모니터링과 이를 이용한 re-optimization 기 등이 요구된다.

CBQ 기능은 각 노드에서 트래픽의 특성을 고려하여 스케줄링 및 폐기 우선 순위를 제어하는 기능으로서 많은 연구 개발이 이루어진 분야이다. 기존의 ATM이나 DS에서 이미 실현된 elastic traffic management, per flow queuing, RED 기술들로서 MPLS 트래픽 엔지니어링 측면에서는 기존 기술들을 이용하는 관점이며, 주요 연구 대상 기술이 아니다[19].

Traffic-engineered path에 대한 성능 모니터링은 감시 대상 LSP에 대해 지연이나 손실, QoS/소스/목적지 주소별 트래픽 양을 지속적으로 모니터링하여 계약된 SLA의 QoS 기준을 만족하는지를 감시하는 기능이다. 만약 계약 내용을 지키지 못하면 대역폭 증감이나 re-routing 등을 이용하여 re-optimization을 하게 된다. SLA나 성능 모니터링 및 이를 이용한 re-optimization 기술들은 인터넷망에서 해결해야 할 근본적인 문제들로서 아직은 초기 연구

<표 2> MPLS LER 시스템 비교

비교	Nortel Networks LER 시스템 Passport 7400	Cisco Systems LER 시스템 Cisco ISO Release 12.1.(3)
신호 프로토콜	CR-LDP	RSVP-TE
Traffic-engineered path QoS 특성	Peak Data Rate, Peak Burst Size, Committed Data Rate, Committed Burst Size, Frequency를 고려하여 결정	Bandwidth로 결정
ER-LSP 설정 모드	Strict와 Loose 모드 지원 Loose ER-LSP의 경우 Pinning 됨	Strict 모드 지원 LSP Preemption(o)
LSP Preemption	Setup과 holding priority 지원	Setup과 holding priority 지원
Re-routing 및 Protection	Re-routing 지원 ER-LSP당 최대 8개 Protection path 설정 가능	Protection path 설정 어려움
계약사항	Hop-by-hop LSP 생성 기능 없음	단일 IS-IS Level 또는 OSPF area에서만 지원

단계에 있다. 최근 Bell Lab에서는 MPLS 망의 트래픽 상황을 감시하고, constrained routes를 계산해 내는 중앙 집중화된 트래픽 엔지니어링 서버 시스템 (RATES)을 연구 개발하고 있다[20].

IV. MPLS 트래픽 엔지니어링을 위한 시스템 개발 동향

MPLS 트래픽 엔지니어링을 위한 시스템은 MPLS 신호 프로토콜에 의해 크게 두 가지 그룹이 있다. CISCO, Juniper Networks와 같이 RSVP-TE를 MPLS 트래픽 엔지니어링을 위한 신호 프로토콜로 사용하는 그룹과 Nortel Networks, ETRI와 같이 CR-LDP를 사용하는 그룹이 있다. 일반적으로 라우터 제조업체들은 RSVP-TE를 선호하며, ATM 등 시스템 기술을 보유하고 있는 제조업체들은 CR-LDP를 선호하고 있다. RSVP-TE를 지원하는 CISCO IOS Release 12.1(3)T와 CR-LDP를 지원하는 Nortel Networks 2.0S1 standard에 대하여 비교 분석한다[21, 22].

<표 2>는 LER 시스템인 Nortel Passport 7400과 CISCO Systems ISO Release 12.1.(3)T를 탑재한 LER 시스템에서 지원 가능한 트래픽 엔지니어링 기능을 나타내고 있다. 두 시스템 모두 앞에서 설명된 MPLS 트래픽 엔지니어링 기능에 대하여 초보적인 수준의 기능을 제공하고 있는 것으로 사료된다.

Nortel Networks에서는 기존 ATM 시스템인 Passport 7400과 15000에 MPLS 기능을 추가하여 각각 LER(Label Edge Router)과 LSR 시스템으로 개선하였다. LER 시스템인 Passport 7400은 CR-LDP에 의한 ER-LSP만 생성 가능하며 LDP에 의한 hop-by-hop LSP는 생성하지 못하고 이에 대한 보완책으로 LDP와 CR-LDP간 상호 연동 기능을 지원한다. 또한, strict와 loose ER-LSP의 설정은 가능하나, loose ER-LSP의 경우 pinning되어 설정된다. 각 ER-LSP별 최대 8개의 protection path를 설정할 수 있다. Traffic-engineered path의 QoS 특성을 frequency, peak data rate, peak burst size, committed data rate, committed burst size로 나타낼 수 있으며, ER-LSP 경로상의 ER-HOP은 IPv4의 전체 IP address나 prefix로 지정할 수 있다. LSR 시스템인 Passport 15000은 LDP 기능이 지원된다.

CISCO Systems에서는 자사의 Cisco IOS를 보완하여 Cisco 7200, 7500, 12000 series에 MPLS 기능을 수행하도록 하고 있다. RSVP-TE 프로토콜에 기반한 CISCO 장비들은 운용자에 의해 TE tunnel(Traffic-engineered path)이 시작되는 노드에서 설정하도록 하고 있다. TE tunnel을 설정한 노드(TE tunnel 시작 노드)는 설정된 TE tunnel을 하나의 인터페이스로 인식하고, 설정된 TE tunnel의 종단노드를 next-hop으로 인식할 수 있도록 되어 있으며, 설정된 TE tunnel의 metric 값을 반영하여 라

우팅 테이블을 만들도록 IS-IS와 OSPF 프로토콜을 확장하고 있다. MPLS 트래픽 엔지니어링은 단일 IS-IS level 또는 단일 OSPF area에서만 제공 가능하다. Traffic-engineered path의 QoS 특성은 대역(band-width)로 나타내며, TE-engineered path 경로상 ER-HOP은 IPv4의 전체 IP address로 나타낸다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 고에서는 차세대인터넷에서 고품질 서비스를 제공할 수 있는 MPLS 트래픽 엔지니어링의 핵심기술과 MPLS 시스템 개발 동향에 대하여 살펴보았다.

MPLS 트래픽 엔지니어링 기술은 ER-LSP 설정 기능과 IP 트래픽에 대한 플로우 세분(packet categorization) 기능에 의해, MPLS 망 내에서 IP 트래픽의 특성과 네트워크 자원 상태를 고려하여 트래픽이 지나가는 경로와 노드 내에서의 트래픽 처리 과정을 효과적으로 제어하는 것을 가능하게 한다. 따라서 인터넷 트래픽의 급속한 증가에 경제적으로 대응할 수 있도록 함으로써 가입자에게는 고품질 IP 서비스를 제공하고, 사업자에게는 수익성과 네트워크 운용 구조의 효율화를 가능하게 할 것으로 전망되고 있다.

그러나 기술적으로는 QoS 라우팅 문제, 품질 모니터링 및 SLA 기능, CR-LDP와 RSVP-TE간의 상호 연동성 확보 등에 대해 더욱 많은 연구가 필요한 실정이다. Nortel Networks와 Cisco Systems에서 개발된 MPLS 시스템의 트래픽 엔지니어링 기능은 운용자에 의해 수동적으로 동작하는 기능을 위주로 개발되어 있는 실정이다. 따라서, 보다 충실한 MPLS 트래픽 엔지니어링 기능을 제공하는 시스템 개발을 위해 각 시스템 제조업체는 네트워크 장애시의 빠른 경로 복구와 부하 분산 등을 통해 네트워크 운용 및 서비스 신뢰도를 향상시킬 수 있는 ER-LSP Protection 기능 개발 및 MPLS 트래픽 엔지니어링을 통한 인터넷망의 고속화 및 안정화를 위한 중앙 집중식 트래픽 엔지니어링 서버에 대한 개발에 주력할 것으로 사료된다. 또한, QoS 패킷의 분류 및

다양한 응용 서비스 제공을 위하여 네트워크 프로세스를 이용한 고기능 고성능의 전달 엔진 개발에 주력할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Tony Li, "MPLS and the Evolving Internet Architecture," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, No. 12, Dec. 1999.
- [2] Daniel O. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, No. 12, Dec. 1999.
- [3] R. Callon *et al.*, "A Framework for Multiprotocol Label Switching," draft-ietf-mpls-framework-05.txt, Sep. 1999.
- [4] E.C. Rosen *et al.*, "Multiprotocol Label Switching Architecture," draft-ietf-mpls-arch-07.txt, July 2000.
- [5] "Multi Protocol Label Switching," *White paper, Future Software Private Limited*, India, (<http://www.futsoft.com>).
- [6] "Layer 3 Switching Using MPLS," *White paper, Harrison & Jeffries* (<http://www.hjinc.com>).
- [7] "IP Traffic Engineering Using MPLS Explicit Routing in Carrier Networks," *White paper, Nortel Networks* (<http://www.nortelnetworks.com/mpls>).
- [8] "IP QoS-A Bold New Network," *White paper, Nortel Networks* (<http://www.nortelnetworks.com/mpls>).
- [9] "Traffic Engineering for the New Public Network," *White paper, Juniper Networks* (http://www.juniper.com/techcenter/techpapers/TE_NPN.html).
- [10] George Swallow, "MPLS Advantages for Traffic Engineering," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, No. 12, Dec. 1999.
- [11] 양선희, "초고속 IP 서비스를 위한 MPLS Traffic Engineering 기술," *Proc. of B-ISDN 워크샵*, July 2000.
- [12] *Proc. of ATM-KIG Workshop - ATM 기반 MPLS 기술*, May 1999.
- [13] O. Aboul-Magd *et al.*, "Constraint-Based LSP Setup Using LDP," draft-ietf-mpls-cr-ldp-04.txt, July 2000.
- [14] D.O. Awduche *et al.*, "RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels," draft-ietf-mpls-rsvp-lsp-tunnel-07.txt, Aug. 2000.
- [15] A. Ghawani *et al.*, "Traffic Engineering Standards in IP Network Using MPLS," *IEEE Communications*

- Magazine*, Vol. 37, No. 12, Dec. 1999.
- [16] Petri Aukia *et al.*, "RATES: A Server for MPLS Traffic Engineering," *IEEE Network Magazine*, Mar./Apr. 2000.
- [17] H. Schulzrinne *et al.*, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," *RFC 1889*, Jan. 1996.
- [18] H. Schulzrinne, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control," *RFC 1890*, Jan. 1996.
- [19] Handley *et al.*, "SIP: Session Initiation Protocol," *draft-ietf-sip-rfc2542bis-01.txt*, Aug. 2000.
- [20] R. Guerin *et al.*, "Quality-of-Service in Packet Networks: Basic Mechanisms and Directions," *Computer Networks*, Vol. 31, Issues3, Feb. 1999.
- [21] "MPLS Traffic Engineering and Enhancements," *Release Number 12.1(3)T*, Cisco Systems.
- [22] "Passport 7400, 15000: Multiprotocol Label Switching Guide," *Nortel Networks*, July 2000.