

978-89-6211-686-1

네트워크 자원 할당 및 관리 기술

일자: 2010년 11월 12일

부서: 슈퍼컴퓨팅본부 융합자원실

제출자: 문정훈, 공정욱, 임헌국

{jhmoon,kju,hklim}@kisti.re.kr



한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information

305-806 대전광역시 유성구 어은동 52번지
TEL (042)869-0676 / FAX (042)869-0679
www.kisti.re.kr

목차

1. 네트워크 자원할당 기술에 대한 필요성
 - 그리드 네트워크 자원의 정의
 - MPLS/GMPLS
2. GMPLS 표준화 및 광 경로 할당 연구
 - 글로벌 표준
 - GMPLS기반 광경로 할당 솔루션
3. 그리드 네트워크의 자원관리 연구동향
 - GLIF
 - 네트워크 자원 관리 기술

네트워크 자원 할당 및 관리 기술

네트워크 자원할당 기술에 대한 필요성

1998년 미국에서 시작된 그리드 프로젝트는 지리적으로 분산된 다양한 컴퓨팅 자원을 초고속 네트워크로 연결하여 고속 연산, 대용량 데이터 처리 및 가상공간에서의 협업 연구를 가능하게 하는 기술이다. 그리드 기술의 개발과 표준화를 진행하고 있는 OGF(Open Grid Forum)에서는 2002년에 그리드와 웹 서비스 기술을 상호 결합한 개방형 표준인 OGSA(Open Grid Services Architecture)를 제정하였다.

컴퓨팅 자원들이 그리드 환경에서 고려되어 왔으나, 네트워크 자원들은 충분히 고려되지 않았었다. 서비스 품질이 보장되는 그리드 환경의 작업 수행을 위해서는 컴퓨팅 자원뿐만 아니라 네트워크 자원의 관리를 통합적으로 제어 및 관리하는 융합망 인프라 환경의 구축이 차세대 연구망에서 필수적이다. 차세대 연구망은 실시간 자원제어와 자원의 사용 효율성 증대를 위하여, 네트워크 자원의 동적 제어 및 관리가 가능하며 트래픽 엔지니어링과 QoS 기술을 제공하는 GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) 기술을 도입하고 있다.

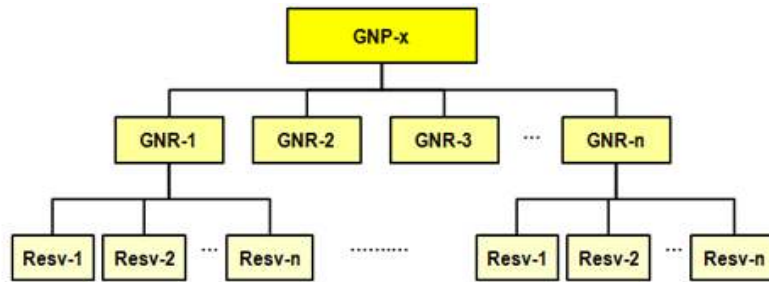
따라서 융합망 환경하에서의 통합자원관리시스템의 기술과 이에 따른 GMPLS 기반의 광 경로 할당 알고리즘을 이용하여 그리드 네트워크의 자원관리 기능을 확대하고, 실제 망에 적용시켜 나가는 수준까지 진행되고 있다. 그리드 네트워크의 자원관리 기능 개발과 병행하여 WSRF(Web Services Resource Framework) 기반의 그리드 네트워크 인터페이스와 웹 기반의 관리자 인터페이스 및 GMPLS 제어평면의 인터페이스의 개발과 글로벌 멀티도메인간의 기술개발은 각국에서 차세대 미래 네트워크를 고려하면서 개척된 분야이고 이에 대한 연구와 적용이 활발히 진행되고 있다.

1. 그리드 네트워크 자원의 정의

기존의 G-lambda, PHOSPHORUS, EnLIGHTened 등 그리드 관련 연구들에서는 그리드 네트워크 경로를 하나의 네트워크 자원으로 매핑하여 예약을 수행하는 그리드 네트워크 자원의 정보 모델을 정의하고 있다. 그리드 어플리케이션에게 네트워크 자원의 다양한 사용 방안을 제공하고 네트워크 자원의 사용 효율성을 증대하기 위하여 3가지 개념으로 설명한다. 그리드 네트워크 경로(GNP), 그리드 네트워크 자원(GNR), 그리드 네트워크의 자원 예약(GRR)으로 구성되는 3 계층의 자원 정보 모델로 정의한다.

네트워크 자원 매니저(NRM)에서는 그리드 자원 스케줄러(GRS)가 지정한 홉 정보와 트래픽 및 QoS 파라미터를 이용하여 GNP를 생성하고 경로 식별자(GNP-ID)를 할당한다.

GNP 상의 전체 자원을 하나의 네트워크 자원으로 매핑하여 예약하는 기존 연구와 달리 3 계층의 정보 모델에서는 생성된 경로 상의 전체 자원을 분할하여 여러 개의 네트워크 자원(GNR)을 생성할 수 있으며, 각 GNR에게 자원 식별자(GNR-ID)를 할당한다. 생성된 GNR에 대하여 시간대 별로 여러 개의 예약이 이루어질 수 있으며, 각 예약에는 Resv-ID(Reservation ID)가 할당된다. NRM에서는 Resv-ID를 이용하여 예약의 시작 및 종료 시간에 실제 전달망 자원의 활성화와 해제를 수행하게 된다. 아래 그림은 3 계층의 정보 모델을 나타낸다.



<그림 1> Three-hierarchical Information Model of Network Resources

GNP와 GNR들은 1:N의 관계를 가지며, N 개의 GNR들이 요구하는 총 대역폭은 하나의 GNP에서 제공하는 대역폭을 초과할 수 없다. GNR과 GRR들은 예약 시간의 중복이 없는 범위 내에서 1:N의 관계를 가질 수 있다. 3 계층 정보모델에서 GNP와 GNR이 1:1 관계를 갖는 경우에는 기존 연구와 동일한 2 계층 정보모델을 제공하게 된다. GRS가 2 계층의 그리드 네트워크 자원관리를 요청하면 NRM은 GNP를 생성하는 동시에 GNP와 1:1의 관계를 갖는 GNR을 생성한다. 이때 생성된 GNR을 특별히 GNPR(Grid Network Path and Resource)이라고 부르며, 식별자도 GNPR-ID로 명한다. GNPR로부터 대역폭 및 시간 기반으로 여러 개의 자원이 예약될 수 있으며, 예약된 각 자원은 식별자(Resv-ID)를 할당받는다.

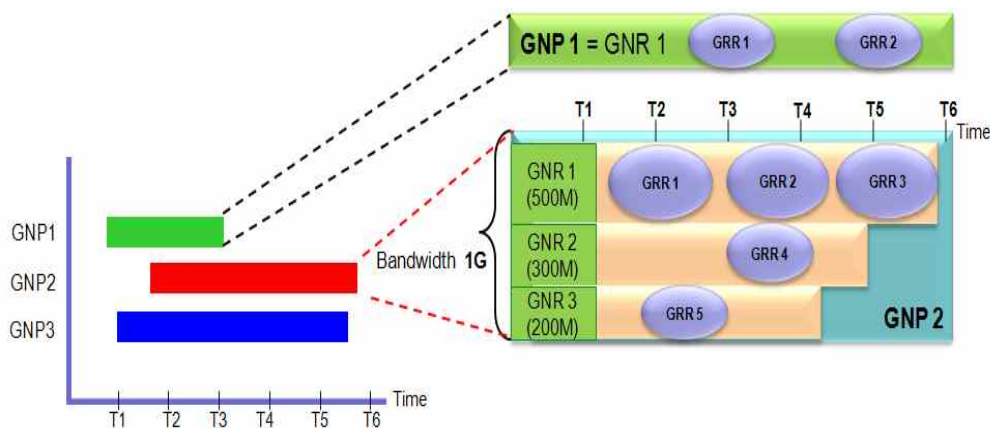
아래 그림은 3 계층 정보모델의 GNP, GNR 그리고 GRR을 기술하기 위한 정보요소를 나타낸다. GNP 정보요소에서 Node IDs는 양 종단 단말들의 주소, Nodes는 그리드 네트워크 경로 상에 있는 중간 노드들의 주소, Bandwidth는 네트워크 경로의 전체 대역폭, GNP Available Bandwidth는 GNP의 현재 가용한 대역폭, Latency는 지연 시간 그리고 State는 경로의 상태를 나타낸다. GNR 정보요소에서 DirectionFlag는 자원의 단방향 또는 양방향을 나타내는 방향성 플래그이며, A2B-Bandwidth와 B2A-Bandwidth는 GNR의 각 방향에 할당된 대역폭을 나타낸다. GRR 정보요소에서 Start-Time과 End-Time은 예약 시작과 종료시간, State는 GRR의 상태를 나타낸다.

Grid Network Path	Grid Network Resource	Grid Resource Reservation
GNP-ID	GNR-ID(GNPR-ID)	Resv-ID
Node IDs	GNP-ID	GNR-ID(GNPR-ID)
Nodes	Node IDs	Start-Time
Bandwidth	DirectionFlag	End-Time
GNP Available Bandwidth	A2B-Bandwidth	State
Latency	B2A-Bandwidth	Link Property
State	Latency	DirectionFlag
	State	A2B-Bandwidth
		B2A-Bandwidth

<그림2 > Information Elements of GNP, GNR and GRR

아래 그림은 GNP, GNR 그리고 GRR의 정보모델에 기반한 그리드 네트워크 자원의 스케줄링 차트를 나타낸다. GNP1은 경로의 전체 자원(예, 대역폭 1G)을 하나의 그리드 네트워크 자원으로 매핑하여 시간대 별로 다수의 자원을 예약한 경우이다. 3 계층 정보 모델에서 GNP1과 같이 경로에 하나의 GNR 만을 생성하여 시간대 별로 자원을 예약하는 경우는 기존 연구에서 정의하고 있는 자원의 2 계층 정보모델과 동일한 방식이 된다.

GNP2에 대해서는 경로의 전체 자원을 세 개의 그리드 네트워크 자원으로 분할하여 GNR1(대역폭 500M), GNR2(대역폭 300M) 그리고 GNR3(대역폭 200M)을 생성하였으며, 각각의 GNR에 대하여 시간대 별로 자원을 예약하였다. 즉, 전달망의 특정 경로가 제공하는 전체 자원에 대하여 하나 이상의 그리드 네트워크 자원(GNR)을 생성한 경우이다.



<그림3> Scheduling Chart for Grid Network Resources

3 계층 정보모델은 GNR 관리의 추가로 인하여 2 계층 정보모델에 비하여 다소 관리 체계가 복잡하지만 그리드 응용들에게 GNP 상에서 GNR들의 다양한 사용방안을 제공하므로 네트워크 자원의 사용 효율성을 증대시키게 된다.

2. MPLS

Multiprotocol Label Switching (MPLS)는 라우팅 테이블에 독립적인 네트워크 트래픽 패턴을 처리하는 하나의 기법을 제공한다. MPLS는 네트워크 패킷에 그 패킷을 어디로 포워딩 할지를 결정하거나 하나의 짧은 Label을 부여한다. 일반적인 level3 포워딩은 IP header를 분석하여 라우팅 테이블과 분석한 정보에 따라 다른 홉에 대한 결정이 이루어진다. 그러나 MPLS 환경에서 패킷 헤더의 분석은 패킷이 MPLS 네트워크에 들어올 때 단 한번 수행된다. 이후에 모든 포워딩에 대한 결정은 IP헤가 아니라 Label에 근거한 Label 포워딩 테이블 인덱스의 검색만으로 이루어진다. 이러한 결정 시 부가적으로 CoS 정보와 함께 패킷 포워딩에 대한 우선순위를 결정할 수 있다.

MPLS에서 하나의 MPLS LSP(Label Switched Path)를 통해 패킷이 전달되는 과정을 보여준다. 한번 LSP가 만들어지면 진출 (Egress) 라우터로 가는 모든 트래픽은 Label에 의해 진입(Ingress) 라우터로부터 중간 Core 라우터로의 포워딩은 Label에 의해서만 결정이 이루어진다.

이러한 경로의 설정과 Label에 대한 라우터간 정보 공유를 위해 MPLS LSP를 설정하는 과정에서는 몇 가지 부가적인 프로토콜들이 필요하다. 먼저, MPLS 네트워크의 진입 라우터에 특정 패킷이 들어왔을 때 새로운 LSP를 요청하는 Signaling 프로토콜이 있어야 하며, Label이 할당된 후 이를 distribute 할 수 있는 방법이 필요하다. 또한, 일반적인 라우팅과 마찬가지로 networking topology가 변경될 경우 이를 반영할 수 있는 프로토콜도 있어야 한다. 마지막으로 MPLS를 통한 Traffic Engineering을 할 경우, 라우터의 링크 정보와 Bandwidth 정보 등 필요한 정보를 교환할 수 있는 프로토콜이 요구된다.

Signaling Protocols

MPLS의 진입 라우터로 패킷이 들어왔을 때, 새로운 LSP를 만들어야 할 경우, 필요한 프로토콜이다, LDP와 RSVP를 사용하며, 목적에 따라 선택 가능하다. 일반적으로 Juniper의 경우 MPLS VPN을 설정시에는 LDP를 MPLS traffic engineering 을 위해서는 RSVP-TE를 사용한다. RSVP는 Path 메시지를 통해 LSP에 대한 resource의 새로운 설정을 요청하고, RESV 메시지를 통해 이에 대한 응답을 받게 된다.

Label Distribution Protocols

BGP는 Board Gateway 프로토콜로 일반적으로 Intra domain간에 라우팅을 위해 사용하는 프로토콜이다. MPLS에서 BGP는 두가지 목적으로 사용할 수 있다. 첫째, 일반적인 BGP와 마찬가지로, MPLS 네트워크의 InterDomain 간 라우팅을 위한 프로토콜로 사용될 수 있으며, 둘째, Label distribution을 위한 프로토콜로도 사용가능하다. 물론 MPLS에 traffic engineering 을 해야 한다면, BGP는 Label distribution 프로토콜로는 적절하지 않다.

Routing Protocols

네트워크 내에서 라우팅을 위해 쓰이는 프로토콜로 MPLS에서도 기본적으로 라우팅 테이블 구성을 위해 필요하다. 일반적으로 OSPF나 ISIS가 사용되며, traffic engineering 이 필요한 MPLS LSP를 구성할 경우, traffic engineering 을 위해 추가되는 링크 정보를 교환 할 수 있도록 확장된 OSPF-TE나 ISIS-TE가 사용된다.

3. GMPLS

배경

1990년대 후반 MPLS는 packet-based 네트워크와 cell-based network 을 아우르는 트래픽 분산을 제어하기 위한 쉽고 새로운 방법을 제공하는 기술로 소개 되었다. 네트워크에 존재하는 어떤 end node 에서도 관리자가 point-to-point 연결을 쉽게 설정할 수 있다는 것은 하나의 커다란 진보였다. MPLS 의 장점은 여러 개의 터널을 설정할 수 있고, 각 터널마다 트래픽 엔지니어링 속성을 부여할 수 있다는 것이다. 또한 MPLS는 두 가지 상반된 네트워크 기술인 패킷 네트워크와 셀 네트워크의 양단에 걸쳐 end-to-end 경로를 만들수 있는 방법을 제공하였다.

대역폭의 소비가 급격히 신장되고, 데이터 전송 기술이 더 빠른 데이터 전송을 가져옴에 따라 MPLS는 한계에 직면하게 된다. MPLS는 올바른 방향으로 데이터 유닛을 포워딩하기 위해 헤더를 조사한다. 그러나, 이것은 다른 네트워크 기술에는 적용할 수 없는 scalability 문제를 야기한다.

2001년 GMPLS는 현재 유용한 모든 네트워크 기술을 아우르기 위해 등장하였다. GMPLS는 새로운 프로토콜은 아니다. MPLS의 super set 이며, TDMA, Lambda Switch, Fiber Switch, MPLS 가 유용한 Packet Switch 과 Layer-2 Switch interface 까지 다섯 가지의 interface 를 가진다. MPLS는 포워딩을 결정하는데 packet 과 cell 의 헤더를 사용했지만, GMPLS는 physical space, time division, wavelength 등을 사용할 수 있다.

GMPLS가 이러한 다양한 기술을 지원할 수 있는 것은 source 와 destination 사이의 모든 스위치들을 지원할 수 있는 Generalized Label 이 있기 때문이다. 이 label 은 physical pace, time division, wavelength을 표현함으로써, 어떤 네트워크 기술을 사용하더라도 LSP를 활성화하고 데이터를 포워딩할 수 있다.

네트워크의 모든 장비가 GMPLS를 지원할 경우, 단대단 GMPLS 연결을 만드는 데 있어 관리자의 개입은 필요 없다. 물론 오류나 관리 측면에서 아직 관리자의 영역이 남아 있다. 그러나, GMPLS 는 전체 네트워크를 자동화하여 시간 소모적인 작업을 줄 일 수 있을 뿐아니라, 사람에 의한 오류도 줄일 수 있다.

GMPLS기술 개요

일반적으로 네트워크는 전송평면, 제어평면, 관리평면으로 구분할 수 있고, 그 중 제어 평면은 연결설정, 인접노드 발견 및 링크 관리, 라우팅, 시그널링, 트래픽/리소스 제어, QoS, VPN(), 노드/링크/경로보호 복구 등을 수행한다. GMPLS는 패킷, 타임, 파장, 파이버 중 어떤 도메인에 있는 장비라도 스위칭 할 수 있도록 제어평면을 제공하기 위해 MPLS를 확장한다. MPLS의 확장을 통해 GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)는 다음 다섯가지 전송 인터페이스를 지원 할 수 있다.

- Packet-Switch Capable (PSC) : IP, MPLS 등 패킷 교환
- Layer-2 Switch Capable (L2SC) : 프레임, 셀 인식, 헤더내의 정보에 따라 전달
- Time-Division Multiplex (TDM) Switched Capable (TSC) : 타임슬롯 위치 정보를 기반으로 데이터 전달
- Lambda-Switch Capable (LSC) : 광노드에서의 파장 스위칭을 통해 데이터 전달
- Fiber-Switch Capable (FSC) : 광 포트 정보와 물리공간의 데이터 위치 정보를 기반으로 데이터 전달

타임슬롯, 파장, 포트의 위치 등으로 인코딩되는 레이블을 이용해 스위칭 기능을 지원하기 위해서는 레이블의 요청/할당, 에러의 발생/처리, 입력노드, 출력노드, 동기화, TE 링크 정보, 명시적 경로, 일반화된 인코딩 방식, 대역폭, 시그널 형식, 보호 및 복구 방식, 다중화 지점 등의 변수들을 전할 수 있도록 MPLS의 라우팅과 시그널링이 확장 되어야 한다. 이를 위해 OSPF-TE, IS-IS-TE와 같은 인트라 도메인 라우팅 프로토콜의 확장 프로토콜들이 사용되고 있으며, 제어 채널의 설정, 유지 관리를 위해 LMP (Link Management Protocol) 등이 표준화 되어 사용되고 있다. 또한 대역폭 이용률을 높이기 위한 Forwarding Adjacency (FA), LSP 설정 시간을 줄이기 위한 Suggested Label, 다운스트림 노드에 의해 선택되는 레이블의 영역을 재현하기 위한 Label set 기능들을 지원한다.

결과적으로 MPLS 프로토콜의 확장은 레이블 스위칭에 관여하는 장비의 수에 있어서의 확장이다. OXC나 SONET ADM과 같은 더 낮은 계층의 장비들은 GMPLS 시그널링을 통해 데이터 전송을 위한 경로를 만드는데 참여할 수 있다.

4. MPLS와 GMPLS

MPLS 동작

GMPLS 를 이해하기 위해서는 MPLS를 먼저 이해할 필요가 있다. MPLS의 포워딩 결정은 Label 패킷의 헤더에 더해지는 label 에 의존한다. 모든 QoS 는 Forwarding Equivalence Class인 FEC table 에 등록된다. Label 은 Label Edge Router인 LER에서 부여한다. 그시점부터 패킷은 label을 단 채로 Labeled Switched Path 인 LSP를 따라 움직인다. 이 경로 내에 있는 모든 Label Switched Router 인 LSR 들은 패킷의 label에 따라 포워딩 결정을 내린다. LSR 들은 패킷에서 label 을 추출한 다음, 포워딩 결정을 내리고, Label Information Base(LIB)에 있는 특정 네트워크 인터페이스에 해당하는 다음 hop 에 대한outgoing-label 을 찾아 그 label 을 패킷에 업데이트한다. 최종 단까지 이 과정은 계속되지만, 종단에서 볼 때, 이것은 마치 하나의 end-to-end connection처럼 보인다.

그러나, 이러한 과정을 수행하기 위해서는 많은 사전 작업이 필요하다. 먼저 LSP를 설정하기 위한 제어 메카니즘이 필요하다. MPLS 에서는 이를 LDP (Label Distribution Protocol)가 수행한다. LDP 중 가장 대중적인 것은 RSVP-TE (Resource reSerVation Protocol) 와 CR-LDP 이다. CR-LDP 는 MPLS 를 위해 특별히 고안된 프로토콜이지만, 대규모 네트워크에서는 거의 쓰이지 않는다. MPLS에서 LSP source부터 destination 까지 단방향으로 설정된다.

두 번째로, MPLS는 전체 데이터 네트워크의 link들과 QoS 정보를 알고 있어야 한다. 이를위한 가장 좋은 방법은 존재하는 기존의 라우팅 프로토콜을 이용하는 것이다. MPLS 는OSPF 와 ISIS를 사용한다. 그러나 이들 프로토콜로는 트래픽 엔지니어링이 가능하지 않으므로 확장 버전인 OSPF-TE와 ISIS-TE를 도입하였다. 이들 프로토콜을 사용하면, 단순한 네트워크 토폴로지 뿐 아니라, 트래픽 엔지니어링 정보도 교환할 수 있다. MPLS 는 이렇게 label을 바꾸면서 경로를 찾아가는 데이터 공간과 경로를 설정하기 위해 필요한 정보를 수집하고 제어하는 제어 공간이 분리되어 있다.

GMPLS 동작

GMPLS 는 많은 부분 MPLS처럼 동작한다. 제어공간에서 라우팅을 위해 OSPF-TE와 ISIS-TE를 사용하고, 데이터 공간에서는 시그널링을 위해 RSVP-TE 와 CR-LDP를 사용한다. 그러나, 이들만으로는 불충분하기 때문에, GMPLS는 이들 프로토콜을 새로운

네트워크 기술들을 위해 확장하였다. 이들 확장과 관련된 부분은 대부분 SDH와 SONET DWDM을 지원하기 위해서이다. 그러나, GMPLS가 이러한 단순한 확장만 있는 것은 아니다. LMP (Link Management Protocol) 라는 GMPLS 만을 위한 새로운 프로토콜도 디자인 되었다. LMP 는 데이터 평면과 제어 평면을 모두 감독하고 제어한다. 데이터 평면에서 LMP는 fault isolation 을 수행할 수 있다.

GMPLS의 LSP 설정 과정은 MPLS와 매우 유사하다. 그러나, GMPLS와 MPLS는 몇가지 차이점이 있다. 먼저, GMPLS 는 계층적 LSP를 가질 수 있다. 즉, host A 와 host B 사이에 동일 인터페이스 상에 여러 개의 LSP가 존재할 수 있다는 뜻이다. 만일 host A 의 인터페이스 a 와 host B의 인터페이스 b 가 서로 다른 네트워크 기술을 지원하는 인터페이스 일 경우, 이를 데면 a 는 TDM 네트워크이고, b 는 packet switched network 이라고 하자. Host A에서 Host B 로 packet switched capable 한 LSP 설정이 필요할 때, Host A는 Host B로 PATH/Label Request Message 를 보낸다. TDM based LSP 가 활성화된 후에 LSR A는 Path/Label Request Message 를 포워딩한다. 이 메시지가 다시 host B에 도착하면, 두 host 사이에는 하나의 LSP가 만들어진다.

두 번째로, MPLS 에서는 데이터 평면과 제어 평면이 논리적으로 분리되어 있지만, GMPLS 에서는 이들 두 평면이 물리적으로 완전히 분리 된다. 이것은 일부분 GMPLS가 다양한 네트워크 기술을 지원하기 때문에 필수적으로 요구된다. OSPF-TE 와 ISIS-TE 는 필연적으로 layer 3를 요구하지만, 데이터 평면은 layer 2 switched network 일 수 있다. 이럴 경우, 데이터 평면과 제어평면은 서로 다른 토폴로지를 가지고 구성될 수 있다.

또한 GMPLS 는 MPLS 가 가지지 않는 두 가지의 속성을 더 가지고 있다. 쌍방향 LSP 와-suggested label이 그것이다. Suggested label 은 label 을 요청한 측에서 답이 오기 전에 먼저 그 시스템만의 label 을 할당하는 것을 말한다. 이것은 물론 요청한 측에서도 suggested label 을 지워하고 이에 동의해야만 가능한 것이다. 예상과 같이 이는 LSP setup 시간을 줄일 수 있다.

GMPLS의 많은 부분은 네트워크에 발생한 결함을 복구하기 위해 추가되었다. 자동화된 과정을 수행하는 프로토콜에 있어 신뢰도는 매우 중요하며, 신뢰도를 말하는 데 있어 자동 복구 능력은 가장 중요한 요소이기 때문이다. 여러 개의 작은 LSP로 구성된 하나의 단대단LSP일 경우 링크나 채널의 오류를 감지하고 찾아내서 회복하는 등의 관리 기능이 필요하다. 물론 이 과정에 오류 보고는 필수적이다. LMP는 이러한 과정을 좀 더 상세히 기술한다.

GMPLS Routing

Layer 3 네트워크에서의 라우팅은 목적지까지의 최단경로 계산이다. 따라서 라우터는 최적의 가능한 연결을 찾아 다음 홉으로 데이터를 보내는 데 관심이 있다. 그러나, GMPLS에서 라우팅은 네트워크 토폴로지와 QoS 정보를 공유하는 데 사용된다. GMPLS는 OSPF 나 SIS topology 정보를 GMPLS 노드들 사이에 IP connectivity를 만들고 데이터 평면과 관련된 TE 정보와 링크 상태 정보를 전하는데 사용한다.

TE 정보와 링크 상태 정보는 이들 프로토콜들을 확장한 OSPF-TE, ISIS-TE 를 통해 전달 된다. 그러나 이들 정보는 LSR에서 LSP에 대한 결정을 할 때, 사용될 뿐 실제 라우팅과는 무관하다. GMPLS는 많은 TE 정보들을 고려해야 하는 복잡한 환경이다. 이러한 정보들을 정확히 전송하고 처리하기 위해서는 모든 TE 정보들이 포워딩 되어야 한다. TE 정보를 처리하는 호스트들은 이들 정보로 Traffic Engineering Database TED를 만들어 관리한다. TED 는 GMPLS 완전한 네트워크 토폴로지뿐만 아니라 모든 링크들의 TE 정보들을 포함한다.

하나의 링크를 기술하는 것은 하나의 값으로 표현될 수 있는 성질이 아니라 여러 개의 요소가 고려되어야 한다. 가장 일반적인 TE 정보들은 다음과 같다.

- Protection Type
- Shared Risk Link Groups
- Link Switch Capabilities
- Data Encoding Type
- Max Unreserved
- Resource Class

GMPLS는 새로운 LSP setup 에 대한 결정을 하기위해 이들 정보 외에 더 많은 TE값을 사용할 수도 있다. 그러나, 이 모든 TE값들이 반드시 필요하지는 않으며, LST를 요구할 때마다 그 요구사항에 의해 경로 계산에 사용될 지가 결정된다.

OSPF-TE

OSPF-TE는 OSPF의 TE 버전으로 GMPLS는 새로운 라우팅 프로토콜을 디자인하지 않고 이를 사용한다. OSPF-TE는 GMPLS의 정보 전송을 위해 LSA의 특별한 type 을 사용한다. OSPF는 동일한 area 내에 있는 모든 라우터들에게 LSA를 포워딩한다. LSA payload 는 Type-Length-Value 블록으로 구성되며, 하나 혹은 그 이상의 TLV를 Value 내에 포함하기도 한다. Top level TLV는 두 가지로 정의된다.

- Router Address
- TE Link

Router Address 는 OSPF 사이에 연결 설정을 위해 사용되며, TE Link는 네트워크에 있는 TE 링크들에 대한 정보를 가지고 있다.

OSPF-TE의 TLV를 사용하는 데에는 몇 가지 제약이 있다. 어떤 LSR은 프로토콜 당 하나의 Router Address 만 허용한다. 즉 TE link는 router id 와 router address 가 분리되지 않으므로 데이터 평면에는 오직 하나의 GMPLS data switch만 control 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 Router ID 와 Router Address를 구분하여 설정하는 방법이다. 그러나 이것은 매우 복잡한 관리를 필요로 한다. 두 번째 방법은 GMPLS 데이터 스위치 들을 하나의 가상 스위치로 나타내어 제어하는 것이다.

Signaling과 Management

라우팅이 네트워크 토폴로지를 인식하고 그것의 링크에 대한 상세 명세를 만드는데 사용된다면, 시그널링은 그 토폴로지 위에서 직접적으로 LSP를 만들고 제거하는데 사용된다. 시그널링은 모든 경로의 홉에 도달할 수 없다면 목적지 까지 도달할 수 없다. 따라서 시그널링이전에 라우팅은 모두 이루어져야 한다. LMP 는 LSP내에 연결의 상태와 복구를 위한 옵션 등 활성화된 정보들을 유지하는 책임을 지고 있다.

RSVP-TE

RSVP는 네트워크에 자원을 예약할 수 있게 함으로써, 호스트 당 트래픽 흐름 별 사용자 수준의 QoS를 제공해 준다. RSVP는 화상 회의나 IP 전화와 같은 실시간 응용에 주로 사용된다. RSVP에서 출발지에서는 목적지를 정의함으로써 터널의 끝을 명시한다. 응용이나 사용자가 터널을 요구할 때, 특정 QoS 속성을 적용한다. 네트워크는 적절한 QoS를 만족시키기위해 노력한다. 모든 터널은 16 bit 의 터널 아이디에 의해 구분 된다. 따라서 동일한 출발지와 목적지를 가지더라도 여러 개의 터널을 만들 수 있다. 일반적으로 출발지에서는 터널아이디로 자신의 IP 주소를 사용한다.

세션 오브젝트는 RSVP-TE 메시지가 어느 세션에 속하는 지를 명시하기 위해 더해진다. 터널과 LSP 는 다르다. 하나의 터널에는 여러 개의 LSP가 존재 할 수 있으며, LSP 는 16bit LSP 아이디로 구별할 수 있다. Sender Template 오브젝트는 세션 내에 유일한 LSP를 구별해 내기 위해 사용된다. 즉, RSVP-TE 메시지가 Sender Template을 포함했을 때, 그것은 특정 LSP 하나에만 전달된다. GMPLS 는 MPLS 와 정확히 동일한

오브젝트를 사용한다. RSVP-TE는 TCP 3455 포트상에서 메시지를 주고 받는다. MPLS에서는 RSVP-TE 메시지가 데이터 경로를 따르지만, GMPLS에서는 좀 더 복잡해진다.

데이터와 제어 평면이 물리적으로 달라질 수 있기 때문에, RSVP-TE는 시그널링 정보를 올바른 LSR과 목적지까지 확실히 전달해야 한다. RSVP-TE는 LSP 설정을 위해 다음 흐름으로 LSP set up 메시지를 Path 메시지에 담아 보낸다. 하나의 LSP는 LSP Accept 메시지를 받았을 때, 비로소 활성화 된다. LSP Accept 메시지는 RSVP-TE의 ResvMessage를 통해 전달된다. LSP가 설정되면, 명시적으로 이를 지우기 전까지는 유지하는 것이 중요하다. 따라서, 만일 오류가 발생한다면 제어 평면에 이를 보고해 주어야 한다. LMP는 오류의 원인을 발견하고 LSP 경로 재설정을 시작할 수 있다. RSVP-TE는 LMP가 경로를 재설정 해주면, Path 메시지를 재전송할 것이다.

LSP 제거 과정도 GMPLS를 위한 확장 되었다. 일반적으로 LSP 제거는 LSP를 요청한 쪽에서 LSP down stream 메시지를 보내면서 시작한다. 그러나 GMPLS에서는 UpstreamRelease 메커니즘도 지원한다.

Link Management: LMP

LMP는 GMPLS의 일부로 만들어진 프로토콜이다. LMP는 fault localization 과 몇 가지 protection 메커니즘이다. LMP는 UDP 701 port를 사용하는 point-to-point 응용 프로토콜이다. 이것은 LMP의 범위가 이웃하는 시스템 사이라는 것을 의미한다. LMP의 첫 번째 기능은 제어 채널 관리이다. LMP는 LMP Config 메시지를 모든 제어 채널 링크에 보냄으로써 자동으로 제어 채널을 만든다. 이에 대한 ConfigAck 메시지를 받으면 LMP는 LMP 패러미터에 대한 협상을 시작한다. GMPLS에는 여러 개의 제어 채널이 존재할 수 있으므로 특정 Config 메시지에 해당하는 Ack 메시지라는 것을 위해, ConfigAck 메시지는 제어 채널과 노드 그리고 메시지 아이디로 구성된다. 제어 채널의 연결이 이루어지면 LMP는 Hello 메시지를 보내 제어 채널이 가용한지를 조사한다. Hello메시지에 대한 dead interval 이상 응답이 없을 경우 가용한 두 번째 제어 채널을 사용한다.

제어 채널이 모든 이웃 노드들과 연결된 후에 데이터 링크에 대한 Link Discovery 와 Link Verification 과정이 진행된다. 호스트는 자신이 어떤 데이터 인터페이스를 가지고 있는지는 알고 있지만, 그들의 상태에 대해서는 무지하다. 그러나, 성공적인 LSP 설정을 위해서는 연결된 시스템으로부터 이러한 정보를 얻을 필요가 있다. LMP link verification은 데이터 채널의 존재를 검증하고 그 상태를 점검할 뿐 아니라 source Link ID와 자신의 local link ID를 연결하는 데도 사용된다.

한번 데이터 채널과 제어 채널이 만들어지면, Link Property Summarization 정보가 교환된다. 연결 링크들은 서로 다른 QoS를 가지고 있기 때문에 어떤 값을 사용하기 위해서는 상호 동의가 필요하다. 또한 이러한 정보 교환은 Link ID가 “발견” 되는 것이 아니라 자체적으로 “설정” 될 수 있기 때문에 Link ID의 통합적인 검증을 위해서도 사용된다.

LMP의 선택적이지만 매우 중요한 구성 요소 중 하나는 명백한 Fault isolation이다. 오류가 발생했을 때, 어디서부터 발생한 것인지 그 근원을 찾아 내는 것은 매우 중요하다.

GMPLS는 포워딩하기 전에 데이터에 대한 무결성을 조사하지 않기 때문에 오류가 발생할지 오랜시간이 지나 end 단에서 발견될 가능성이 있다. LMP는 제어 채널에 대한 결함을 보고하고 고립시킨다. 그리고 GMPLS가 다른 링크로 트래픽을 우회할 수 있게 한다. 결함이 있는 것을 발견한 시스템은 LMP ChannelStatus 메시지를 상위 노드로 보낸다. 상위 노드는 이 메시지를 받고 시그널을 점검함으로써 자신의 데이터 채널의 상태를 검사한다. 이 과정은 결함이 있는 링크나 초기 데이터를 보낸 출발지에 도달할 때 까지 반복된다. LMP의 마지막 부분은 인증이다. RFC로 강제하지는 않았지만, LMP Specification은 IPsec을 권고한다.

GMPLS 표준화 및 광 경로 할당 연구

1. GMPLS 표준화 동향

IETF의 MPLS 워킹 그룹은 다양한 패킷 기반의 링크 계층에서 레이블 스위칭 기술(Packet-over-Sonet, Frame Relay, ATM 등)의 표준화 작업을 수행하고 있다. 초기의 MPLS(Multiprotocol Label Switching) 표준화 작업은 대부분 완료된 상태이며, 현재 진행 중인 작업들은 다음과 같다[1].

- Point-to-Multipoint(P2MP) MPLS의 요구사항 및 프로토콜 확장
- 소프트 선점(soft preemption)을 포함하는 트래픽 엔지니어링 된 P2MP를 위한 요구사항 및 프로토콜 확장
- MPLS OAM(Operation, Administration & Maintenance)의 메커니즘에 관한 요구사항 정의
- CCAMP 워킹그룹과 협력하여 멀티-영역(multi-area)/멀티-AS에서의 트래픽 엔지니어링을 위한 MPLS 규격 정의
- 현재 구현 중인 MPLS 트래픽 분담(load sharing)의 문서화 작업
- MPLS TP(Transport Profile)을 생성하기 위한 MPLS WG 프로토콜과 RFC의 확장

IETF에서는 데이터 링크 계층과 네트워크 계층에 초점을 맞추면서 다양한 물리 계층에서 효과적으로 동작할 수 있도록 기존 프로토콜의 향상을 목표로 하고 있다. IETF에서는 1996년부터 MPLS 프로토콜 표준화 작업을 수행하였으며, 1999년에는 MPLS 개념을 OXC로 확장한 MPLS가 제안되었고 그 이후에는 람다(lambda) 스위칭뿐만 아니라 타임 슬롯, 물리적 포트 및 광 스위칭을 포함하는 GPMLS(Generalized MPLS)로 일반화되었다 즉, GMPLS는 MPLS기반의 PSC(Packet Switch Capable) 인터페이스뿐만 아니라 TDMC(Time-Division Multiplex Capable), LSC(Lambda Switch Capable) 및 FSC(Fiber Switch Capable) 인터페이스에도 적용이 가능한 MPLS의 확장된 기술이다.

GMPLS는 다양한 계층에 적용 가능한 공통의 제어평면을 제공한다. 공통의 제어 평면은 네트워크의 관리와 운용을 단순화하고, 오버레이 모델(overlay model) 뿐만 아니라 피어 모델(peer model)까지도 구성할 수 있다. GMPLS가 다양한 스위칭 유형을 지원하기 위해서 레이블의 요청 및 할당, 에러의 처리, 입구 노드(ingress node)와 출구 노드(egress node)의 동기화, TE 링크 정보, 명시적 경로, 일반화된 인코딩 방식, 대역폭, 보호 및 복구 방식과 같은 파라미터의 전달이 가능하도록 MPLS의 라우팅과 시그널링을 확장하였다.

GMPLS는 IETF Routing Area의 CCAMP 워킹그룹 주도하에 표준화가 진행되고 있다 [2]. CCAMP 워킹 그룹은 인터넷 서비스 제공자의 물리적 경로와 코어 망 터널링 기술에 대하여 공통의 제어평면과 분리된 측정평면을 정의하고 있다. CCAMP 워킹 그룹의 표준화 작업에 대한 임무는 다음과 같다[3].

- 라우팅과 시그널링에 필요한 링크 및 경로를 표현하기 위한 프로토콜에 독립적인 매트릭과 파라미터 정의.
- 링크와 경로 측정에 필수적인 링크 관리 프로토콜(Link Management Protocol)의 정의 및 확장
- 경로 설정에 필요한 시그널링과 라우팅을 확장하는 기능 규격의 정의
- GMPLS 기반의 트래픽 엔지니어링 매커니즘 정의 및 인터넷 데이터 평면에서 인터넷 데이터 경로의 명시적인 라우팅을 위한 프로토콜 확장
- MPLS와 연계하여 MPLS-TP를 지원하기 위한 GMPLS 매커니즘의 정의와 프로토콜 확장

CCAMP 워킹 그룹에서 현재 진행 중인 작업은 다음과 같다.

- 측정 프로토콜을 통하여 수집된 네트워크 자원을 현재의 라우팅 프로토콜(OSPF, IS-IS)을 이용하여 분배시킬 수 있는 방법의 정의
- 멀티 도메인에서 경로와 터널 설정 및 유지보수를 위한 시그널링 및 라우팅 매커니

증의 정의

- 링크와 경로 레벨의 절체를 위한 링크와 경로 속성들의 추상화 정의
- 경로 절체와 다양한 라우팅 및 경로의 빠른 복구를 위한 시그널링 매커니즘 정의
- ASON(Automatically Switched Optical Network)이 정의한 시그널링과 라우팅의 요구사항과 현재 CCAMP에서 정의하고 있는 프로토콜 요구사항의 일치화 작업
- MPLS TP를 생성하기 위하여 필요한 CCAMP 워킹그룹 프로토콜과 RFC들의 확장

아래표는 CCAMP에서 정의한 GMPLS의 주요 RFC 문서들이다.

<표1> GMPLS RFCs

RFC4872	RSVP-TE Extensions in Support of End-to-End Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Recovery	May 2007	Stan. Track
RFC5151	Inter-Domain MPLS and GMPLS Traffic Engineering -- Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions	February 2008	Stan. Track
RFC3473	Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions	January 2003	Stan. Track
RFC4139	Requirements for Generalized MPLS (GMPLS) Signaling Usage and Extensions for Automatically Switched Optical Network (ASON)	July 2005	Informational
RFC4208	Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) User-Network Interface (UNI): Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Support for the Overlay Model	October 2005	Stan. Track
RFC4204	Link Management Protocol (LMP)	October 2005	Stan. Track
RFC3630	Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2	September 2003	Stan. Track
RFC4631	Link Management Protocol (LMP) Management Information Base (MIB)	September 2006	Stan. Track
RFC4426	Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Recovery Functional Specification	March 2006	Stan. Track
RFC4726	A Framework for Inter-Domain Multiprotocol Label Switching Traffic Engineering	November 2006	Informational
RFC4803	Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Traffic Engineering Management Information Base	February 2007	Stan. Track
RFC4802	Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) Traffic Engineering Management Information Base	February 2007	Stan. Track
RFC3473	Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions	January 2003	Stan. Track

2. DRAGON

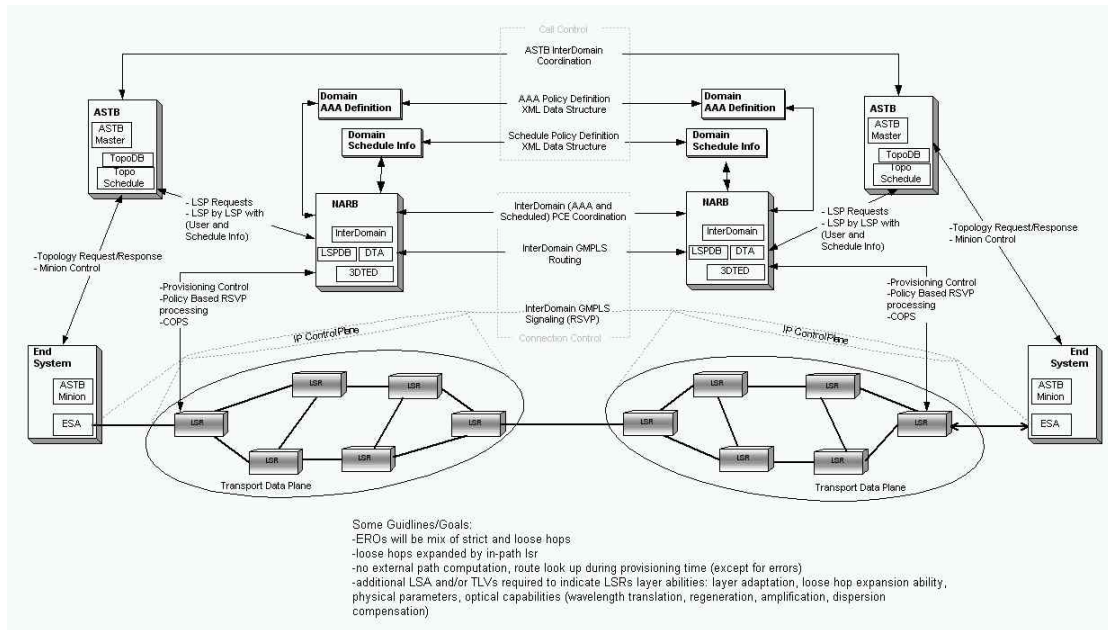
NSF(National Science Foundation)에서 지원하는 DRAGON(Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks)[4] 프로젝트는 고 대역폭을 요구하는 e-Science 어플리케이션을 위하여 BA(book-ahead) 모드로 동적인 네트워크의 전송 서비스를 위한 연구와 개발을 수행하는 프로젝트이다. DRAGON에서는 동적으로 네트워크 자원의 할당과 해제를 수행하기 위하여 GMPLS 제어평면의 시그널링과 라우팅 기능에 기반한 트래픽 엔지니어링 기술을 이용한다.

이러한 구현을 위해 DRAGON은 IP 네트워크 구조를 사용하며 중단 사용자의 요청에 즉각 직접적으로 대응하는 동적이고 결정적(deterministic) 네트워크 경로를 만들기 위해 Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) 기반의 광코어 네트워크를 만든다. GMPLS에서 Label Switching Routers(LSRs)로 작동하는 광 수신 장비와 스위칭 장비는 패킷, 파장, 광전송 등 여러 가지 네트워크 기술을 포괄하는 결정적 네트워크 자원을 제공한다. 이것은 GMPLS에서 정의된 연결, 자원 관리 메커니즘에 그 기초를 두며 연구, 교육(R&E) 네트워크에 기반한 지역 간, 국가 간, 글로벌 광파장의 여러 기능들을 모델링한다[5].

GMPLS 제어평면에서 동작하도록 설계된 DRAGON 소프트웨어 구조는 크게 CSA(Client System Agent), NARB(Network Aware Resource Broker), VLSR(Virtual Label Switch Router) 그리고 ASTB(Application Specific Topology Builder)의 네 부분으로 구성된다. 아래 그림은 DRAGON의 구조를 나타낸다.

NARB의 핵심 기능은 도메인간 라우팅, 도메인간 경로 계산, 토폴로지 추상화 등이다. NARB는 도메인간 라우팅 정보와 LSP 제공을 위한 토폴로지 정보를 교환한다. 즉, 자신의 네트워크에 대한 OSPF와 트래픽엔지니어링(TE) 정보를 GMPLS 네트워크 상의 이웃 NARB와 교환함으로써 서로의 링크상대 데이터베이스를 공유한다. NARB는 동시에 여러 개의 클라이언트에 서비스를 제공하는 독립적인(standalone) 소프트웨어로 설계되었다.

NARB의 모든 클라이언트는 TCP 연결로 서버에 연결된다. NARB API는 NARB 서버와 클라이언트가 통신하는 방법을 정의한다. NARB는 또한 RCE, OSPF 데몬 및 이웃 NARB 들과도 TCP 연결을 유지한다. DRAGON 네트워크에서 RCE (Resource Computation Element)는 경로 계산의 기능을 수행하며, 보통 NARB의 내부에 통합된다. CSA는 제어평면의 중단 시스템에서 LSP의 설정과 해제를 수행하는 소프트웨어이다.



<그림4> DRAGON Architecture

응용은 네트워크에서 동적 경로를 설정하는데 있어서 ASTB가 제공하는 API를 이용한다. 현재 이 API는 IPv4 주소로 표현되는 출발지와 목적지 사이의 응용에 특정된 네트워크 경로를 설정하도록 요구할 수 있는 메시지들의 집합이다. 차후 토폴로지 빌더를 포함할 경우 특정 응용만을 위한 전용의 네트워크 토폴로지를 여러 개의 LSP로 구현할 수 있을 것이다. 중단 시스템(CSA)은 ASTB를 통하여 NARB에게 경로 계산을 요청한다. 경로 요청에 대한 응답이 ASTB를 통하여 반환되면 중단 시스템은 LSR의 GMPLS 제어 평면에 대한 프록시 기능을 수행하는 VLSR과 RSVP-TE 제어 메시지를 교환하게 된다.

VLSR은 GMPLS를 제공하지 않는 장치에게 중단 간 GMPLS 서비스를 제공할 수 있도록 GMPLS의 프록시 기능을 제공한다. VLSR의 GMPLS 제어평면에는 Martin Karsten의 KOM-RSVP와 GNU Zebra가 확장된 RSVP-TE와 OSPF-TE가 포함된다. VLSR의 제어평면 소프트웨어는 주로 일반 PC에 탑재되어 GMPLS 제어 평면의 기능을 수행하며, 전달 평면의 스위치에게 LSP의 설정 및 해제를 CLI, TL1 또는 SNMP를 이용하여 명령한다. 전달 평면의 스위치로는 VLAN 기반의 이더넷 스위치를 주로 제어하고 있으며, TDM 및 광 스위치의 제어도 가능하다[6].

DRAGON의 구성요소

DRAGON 소프트웨어는 다음의 주요 요소들로 구성되어 있다.

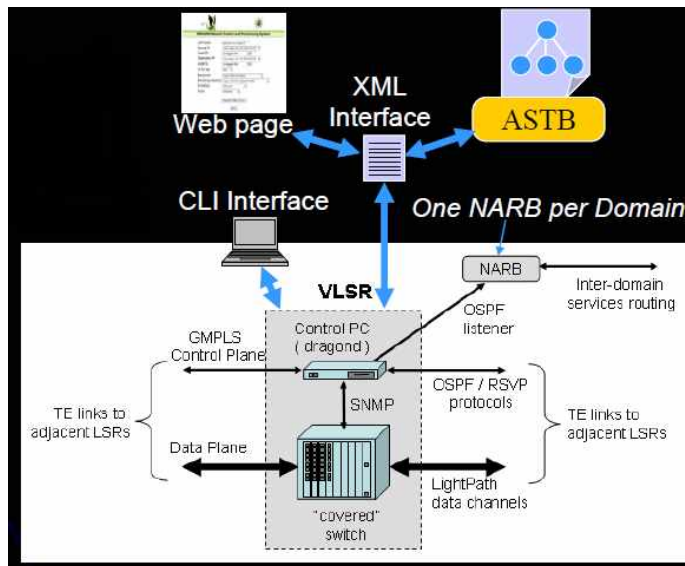
- VLSR (Virtual Label Switch Router)

제어평면 구성요소로 OSPF-TE, RSVP-TE와 프로비저닝을 시작할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공한다. Internet2의 Ciena Core Director가 있는 하나 혹은 그 이

상의 네트워크 장비들에 설정할 수 있다. 이것은 Ethernet SONET circuit의 다양한 ethernet 포트들에 활용될 수 있다. 또한 VLSRdms GMPLS를 지원하지 않는 이더넷 스위치들에서 자동 VLAN설정을 통해 동적인 circuit을 설정할 수 있다.

- NARB(Network Aware Resource Broker)/RCE(Resource Computation Engine) 제어 평면 구성요소로 멀티 도메인 멀티 레벨 Path Computation Element (PCE)와 도메인간 라우팅 기능을 제공한다.

- DRAGONMon(DRAGON Monitor) 존재하는 LSP의 상태를 감시하고, 다른 시스템이 접근할 수 있도록 MySQL 데이터 베이스에 저장한다.



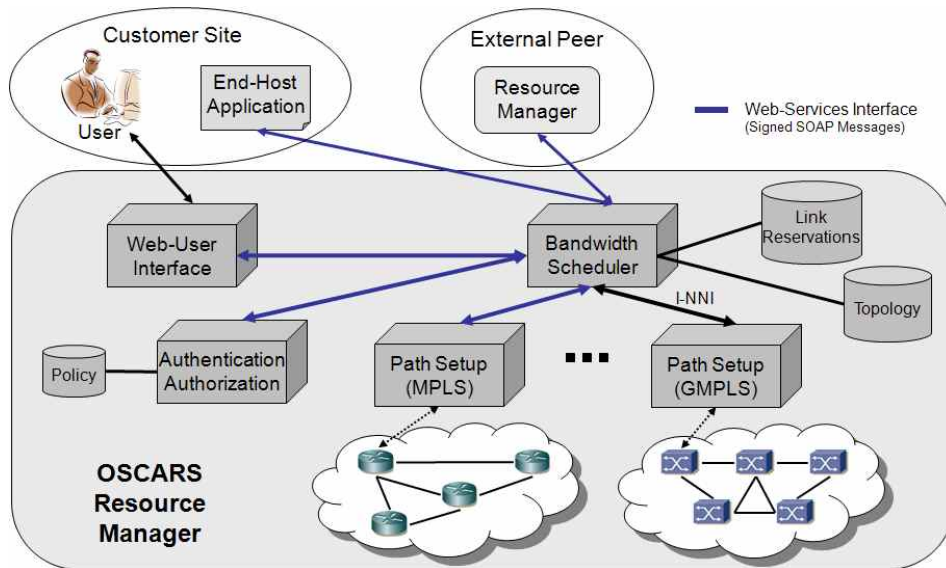
<그림4> DRAGON's VLSR

3. OSCARS

ESnet에서 지원하는 OSCARS(On-demand Secure Circuits and Advance Reservation System)[9]는 원격 제어 실험, 제한된 시간의 고 대역폭 데이터 전송, 화상 회의 등과 같이 서비스 품질에 민감한 응용을 위하여 보안과 동적 자원의 할당에 대한 연구와 개발을 수행하는 프로젝트이다. OSCARS는 현재 Lambda Station 프로젝트, Internet2의 DCN 프로젝트, GEANT2 AutoBAHN 프로젝트[7]와 도메인 간의 상호 운용성을 데모하였으며 특히, DCN 프로젝트에서 DRAGON 프로젝트와 성공적으로 통합을 이루었다.

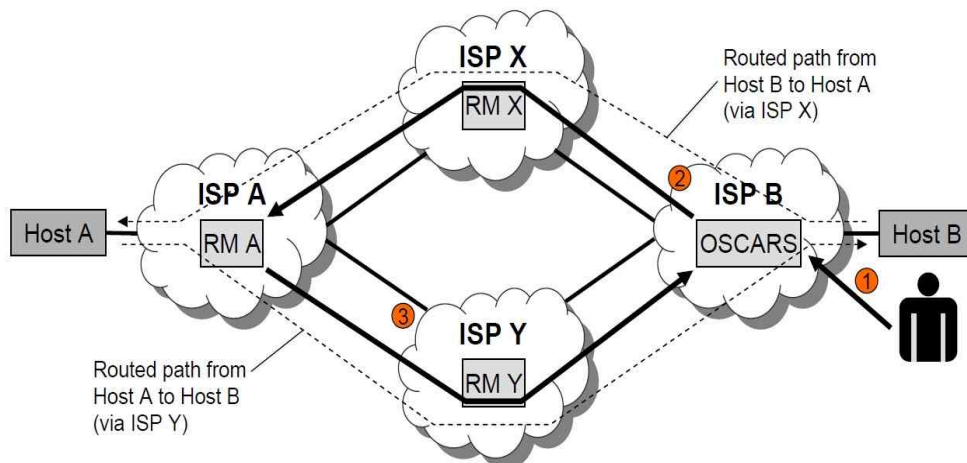
아래 그림은 OSCARS의 구조를 나타낸다. OSCARS는 인증과 권한에 대한 절차를 위하여 ESnet의 DOEGrids 인증서 서비스와 VOMS(Virtual Organization Membership

Service) 소프트웨어를 수정하여 사용한다. OSCARS 프로젝트의 소프트웨어는 OASIS의 WSRF(Web Services Resource Framework)와 GGF(Global Grid Forum)의 OGSA(Open Grid Services Architecture)의 표준을 채택하여 구현하였다.



<그림5> OSCARS Architecture

OSCARS는 동적으로 QoS가 지원되는 경로를 사용자가 쉽게 생성할 수 있는 서비스를 제공한다. OSCARS는 종단간 경로의 자원을 보장하기 위하여 MPLS와 RSVP를 사용하고 있다. OSCARS의 요구에 의한 경로 생성 절차는 다음 그림과 같다.



<그림6> OSCAR's On-demand Path Setup

중단간 경로의 자원을 사용하기 위하여 자원 예약의 시작 시간, 종료 시간, 대역폭 요구 사항을 명기하여 사용자는 RM(Resource Manager)에게 자원 예약을 요청한다. 사용자가 요청한 자원의 예약 시작 시간에 RM은 ESnet의 에지 라우터에게 LSP를 생성하도록 하며, 경로상의 각 라우터들은 RSVP 신호 메시지를 교환하므로 LSP를 설정한다. 발신지의 패킷이 ESnet의 에지 라우터에 전달되면 이 패킷은 Flow Specification 파라미터(발신지 IP 주소, 목적지 IP 주소, 포트 번호)와 정책에 따라 필터링을 거쳐서 LSP를 이용하여 목적지로 전달된다. 자원의 예약 시간이 종료되면 RM은 에지 라우터에게 자원 해제 절차를 명령하여 생성된 LSP를 해제한다.

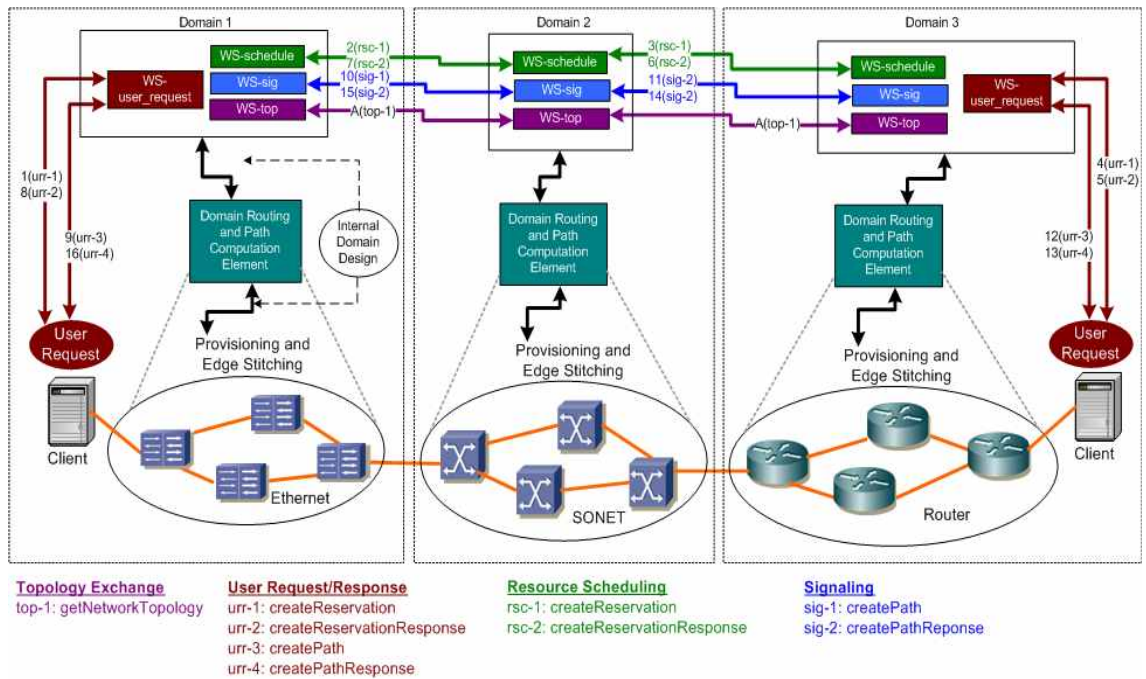
RM은 WSRF 모델의 표준에 일치하도록 설계되었으며 WSDL(Web Service Definition Language)을 사용하여 프로그래밍 언어에 독립적인 표준 인터페이스를 정의한다. 시스템의 상태는 SOAP(Simple Object Access Protocol) 프로토콜을 이용하는 표준 서비스 인터페이스를 통하여 통신되며 RM에 의해 제어된다. RM은 AAAS(Authentication, Authorization, and Auditing Subsystem), BBS(Bandwidth Scheduler Subsystem) 그리고 PSS(Path Setup Subsystem) 컴포넌트를 포함한다. AAAS는 서비스 요청에 대한 인증과 권한을 담당하며, BBS는 사용자가 자원 사용을 요청하면 ESnet의 자원 예약 및 할당에 대한 상황을 추적하여 요청에 대한 자원 가용성의 확인을 수행한다. PSS는 BBS와 연동하여 LSP를 생성 또는 해제하여 동적으로 경로를 생성하거나 해제하는 기능을 담당한다[8].

4. Internet2의 DCN

Internet2의 DCN(Dynamic Circuit Network)[9]은 고성능의 광, 패킷 망 환경에서 단기간의 연결을 설정하여 중단 사용자가 요구하는 대역폭을 신뢰성있게 제공하는 네트워크이다. DCN은 사용자가 Internet2의 자원을 요청하면 제어평면의 소프트웨어를 이용하여 자동으로 자원 예약을 할당하거나 해제한다. DCN의 제어평면 소프트웨어는 인증과 권한 확인을 통하여 도메인 간의 상호 운용성을 지원한다. DCN에서는 NSF의 DRAGON, ESnet의 OSCARS, 그리고 GEANT2 AutoBAHN 프로젝트의 소프트웨어를 이용하여 제어평면의 소프트웨어를 개발하고 있다.

DCN은 다음 그림과 같이 OSCARS 소프트웨어로 구성된 IDC(Inter-Domain Controller)와 DRAGON 소프트웨어로 구성된 DC(Domain Controller)가 있다. DC는 로컬 도메인의 네트워크 장비 관리와 자원 설정에 대한 서비스를 제공하며, Internet2 DCN은 GMPLS가 지원되지 않는 장비를 위하여 DRAGON 소프트웨어를 사용한다. IDC는 관리 영역이 다른 도메인에서 제공하는 서비스를 사용하기 위하여 도메인 간에 조정자 역할을 하며 Topology Exchange, Resource Scheduling, Signaling 그리고 User

Request/Response의 네 가지 웹 서비스를 제공한다.



<그림7> DCN Architecture

Topology Exchange 웹 서비스는 도메인 간에 OGF의 NMWG(Network Measurement Working Group)에서 정의된 Control Plane 토폴로지 스키마 형태의 토폴로지 정보를 교환하기 위하여 getNetworkTopology 오퍼레이션을 제공한다. Resource Scheduling 웹 서비스는 요구되는 자원에 대하여 예약을 생성(createReservation), 수정(modifyReservation) 그리고 취소(cancelReservation)하기 위한 메시지를 제공한다. Signaling 웹 서비스는 예약된 자원을 사용하는 경로를 생성(createPath)하거나 해제(teardownPath)를 위한 메시지를 제공한다. User Request/Response 웹 서비스는 Resource Scheduling 웹 서비스 메시지와 Signaling 웹 서비스 메시지를 제공한다.

그리드 네트워크의 자원관리 연구동향

1. GLIF와 OGF의 NSI

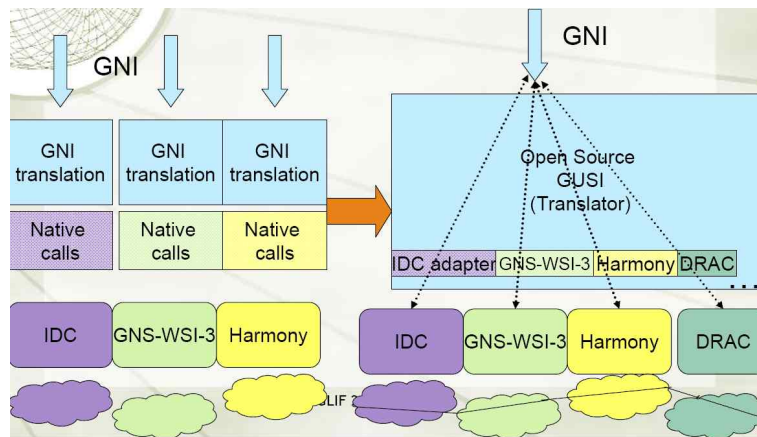
GLIF(Global Lambda Integrated Facility)는 광 네트워킹을 장려하고 지원하기 위한 국제 가상 기구이다. NREN(National Research and Education Network)들의 글로벌 협력을 지원하며, 람다(lambda)와 관련된 규정과 컨소시엄 작업을 위한 플랫폼을 제공하고 있다. GLIF의 4개 워킹 그룹 중에서, Control Plane & Grid Integration Middleware에서 네트워크 자원관리 관련 작업을 수행하였다. 2008년 1월 회의에서 Control Plane &

Grid Integration Middleware 워킹 그룹은 Technical Issues 워킹 그룹과 합병되었다.

이 워킹 그룹에서는 분산되어 있는 람다 자원들의 제어 평면들 각각에 대한 인터페이스와 프로토콜들을 협의하고 승인하는 작업을 한다. GLIF의 Technical Issues 워킹 그룹의 산하에는 다음과 같은 업무를 수행하는 테스트 포스트들이 있다.

- GNI(Generic Network Interface) 규격 작업
- 동적인 광 경로(lightpath)에 대한 유일한 식별 방법
- 광 경로에 대한 성능 모니터링(perqSONAR)
- 동적인 GLIF 서비스
- GOLE(GLIF Open Lightpath Exchange)를 위한 공통의 서비스 레벨 규격 작업

GNI 테스트 포스트에서는 네트워크 자원관리를 위해 GNI에서 제공되어야 하는 옵션과 파라미터들을 정의하고 있다. GNI에 그리드 웹 서비스의 표준인 WSRF 규격의 적용 필요성 분석과 각 WSRF 규격들의 중요도를 지정하였다. 또한, 각 옵션과 파라미터 그리고 WSRF의 적용 상황을 그리드 네트워크의 자원관리 프로젝트 (PHOSPHORUS, G-Lambda, IDC, AutoBAHN) 별로 정리하였다.



<그림8> GUSI Conceptual Configuration

2008년 10월의 Technical Issues 워킹 그룹의 회의에서 GNI 규격의 정제 작업을 수행하였다. 현재 AutoBAHN, PHOSPHORUS 그리고 OGF(Open Grid Forum)의 NSI에서 정의한 네트워크 자원관리 API들이 서로 다른 방법으로 구현되어 있어, GUSI(GLIF Unified User Interface) 라는 공통의 통합된 API 개념을 정의하였다. GUSI 플랫폼은 서로 다른 네트워크 자원관리 인터페이스를 사용하는 시스템들에게 메시지 파서로서 어댑터 역할을 수행하게 된다. GUSI는 GLIF 커뮤니티에서 제공될 새로운 서비스들의 확장성과, 모듈화를 지원하기 위한 개념으로, API들은 GLIF 멤버들을 위해 공개 소스로

제공하게 된다.

OGF는 분산 컴퓨팅 기술의 보급과 그리드 기술의 빠른 변화를 가속화시키는 비영리 컨소시엄 기구이다. OGF는 3개의 기능 영역으로 구성되어 있으며, 각 기능 영역에는 관련 워킹 그룹들이 속해 있다. 그리드 네트워크 자원관리의 작업을 수행하는 NSI(Network Service Interface) 워킹 그룹은 “Standard Function” 기능 영역에 속해있다. NSI 워킹 그룹에서는 사용자, 미들웨어 그리고 네트워크 외부 Entity로부터 호출되는 일반적인 네트워크 서비스 인터페이스의 권고안 작성을 수행한다. 또한, 네트워크 인프라와 그리드 미들웨어 사이의 인터페이스와 이기종 멀티 도메인 환경에서 상호연결이 가능한 인터페이스를 정의한다.

NSI 워킹 그룹에서는 NSI 유스케이스, NSI 구조, NSI 공통 메시지 및 프로토콜 규격, NSI “User-to-Network”와 “Network-to-Network” 규격의 4개 세부 타이틀을 정하여 네트워크 자원관리를 위한 권고안을 작업하고 있다[10]. NSI 유스케이스에서는 핵심 유스케이스와 사용자의 요구사항들을 설명한다. 그리드 미들웨어, 그리드 어플리케이션과 다른 네트워크 서비스 제공자들을 포함하는 다양한 사용자들의 요구사항을 포함하여 사용자들과 네트워크 서비스 제공자들을 위한 요구사항들을 식별한다. NSI 구조 에서는 요구사항들과 기능들을 포함하는 NSI를 위한 구조를 설명하며, NSI 위치 (User-Network, Network-Network)의 정의와 NSI 기능성 및 인터페이스 프로토콜 요구사항의 규격을 정의한다.

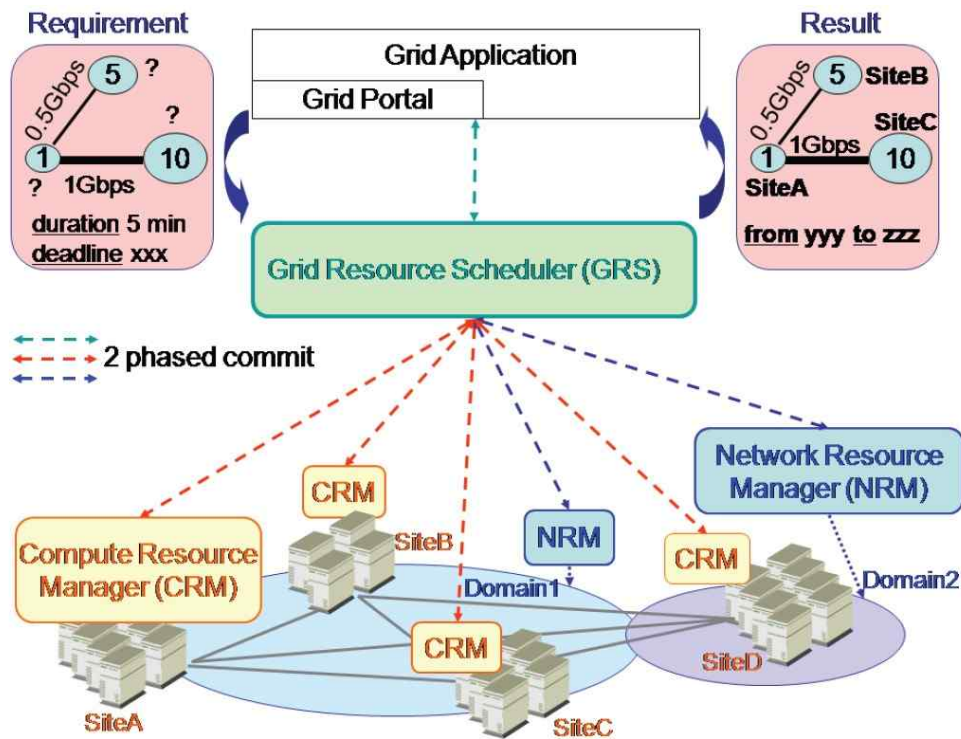
NSI 공통 메시지와 프로토콜 규격에서는 NSI를 위한 프로토콜들과 메시지를 설명한다. 메시지 규격은 네트워크 서비스 요청, 모니터링 및 네트워크 서비스 발견 등에 관여하는 메시지들의 집합으로 구성된다. NSI “User-to-Network”와 “Network-to-Network” 규격에서는 NSI 구조와 NSI 공통 메시지 및 프로토콜 규격에서 정의된 기본 규격들을 참고하여 User-to-Network와 Network-to-Network 인터페이스와 관련된 세부 프로토콜, 메시지 규격을 설명한다. 이들 규격들은 2008년 10월 OGF24에서 아웃라인이 형성되었으며, 2009년 OGF25를 시점으로 규격들의 드래프트 규격이 생성되고 있다.

2. G-Lambda

G-Lambda 프로젝트는 JGN II 테스트 베드를 기반으로 2004년에 시작된 일본의 그리드 프로젝트이다[11]. 이 프로젝트의 목표는 그리드 자원 관리자와 네트워크 자원 관리자 사이의 표준 웹 서비스 인터페이스인 GNS-WSI(Grid Network Service-Web Services Interface)를 정의하는 것이다. G-Lambda에는 컴퓨팅 자원을 관리하는 CRM(Computing Resource Managers)과 네트워크 자원을 관리하는 NRM(Network

Resource Manager)이 있으며, GRS(Grid Resource Scheduler)는 이들 매니저와 인터페이스를 통하여 컴퓨팅 자원과 네트워크 자원의 예약 및 정보 관리를 수행한다.

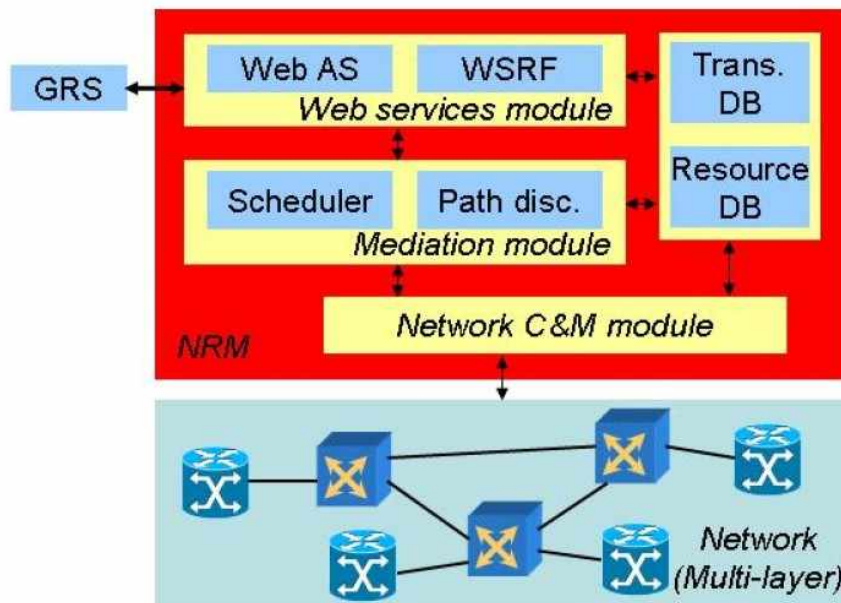
네트워크 자원을 관리하는 NRM 시스템은 GRS와의 인터페이스인 GNS-WSI 관련 서비스를 제공하기 위한 웹 서비스 모듈, 네트워크 자원의 스케줄링과 가상화를 담당하는 중재 모듈 그리고 네트워크의 제어와 모니터링을 수행하는 네트워크 제어 모듈로 구성된다. 웹 서비스 모듈은 WSDL에 정의된 오퍼레이션을 GRS와 NRM 사이에 주고 받으며, 중재 모듈에서는 람다 LSP를 사용하는 정책 기반 가상 토폴로지를 생성하여 네트워크 자원을 스케줄링 한다. 네트워크 제어 모듈에서는 GMPLS 기반 네트워크 제어 인터페이스를 통해 종단간 경로들을 설정하고 모니터링을 한다.



<그림9> G-Lambda Architecture

GRS와 NRM 사이의 GNS-WSI 인터페이스는 현재 버전 3까지 나온 상태이다. 버전 1에서는 기존 웹 서비스를 사용하여 GNS-WSI가 설계되었으며, 버전 2부터는 WSRF 규격에 따른 웹 서비스 형태로 설계 되었다. 버전 1에서는 네트워크 자원의 모니터링 및 정보 서비스, 자원 예약과 전송 서비스 그리고 예약의 변경 서비스를 제공한다. 버전 1에서 제공되는 서비스와 관련된 자원 예약 오퍼레이션은 1단계(1-phase) 승인 형태로 수행되며, 각각의 자원 예약 요청들은 경로 예약 ID로 식별된다.

버전 2에서는 일반 웹 서비스가 아닌 OASIS에서 표준화한 그리드 웹 서비스 규격인 WSRF를 기반으로 GNS-WSI가 정의되었다. NRM에서는 globus alliance에서 WSRF를 구현한 GT4 미들웨어를 사용한다. WSRF 규격 중에서 자원 속성 관리와 연관된 WS-ResourceProperties, 웹 서비스 어드레싱 규격인 WS-Addressing과 오퍼레이션 수행의 실패 처리와 관련된 WS-BaseFaults를 적용하였다. 제공되는 서비스는 버전 1과 동일 하지만 서비스 이름과 수행 방식 및 오퍼레이션들이 변경되었다. 네트워크 자원 생성과 관련하여 ReservationFactoryService, 자원 예약, 변경 그리고 해제와 관련된 ReservationService가 있다. 버전 2에서는 자원 예약과 관련된 오퍼레이션 수행에 있어서 2단계(2-phase) 승인을 적용하는데 이와 관련된 ReservationCommandService가 있다. 버전 2에서는 자원 예약 식별자를 WSRF의 WS-Addressing 규격에 의한 EPR(Endpoint Reference)로 한다. 각 오퍼레이션에 2단계 승인을 적용하기 위하여 버전 1과 달리 오퍼레이션 상태를 추가로 정의하였다.

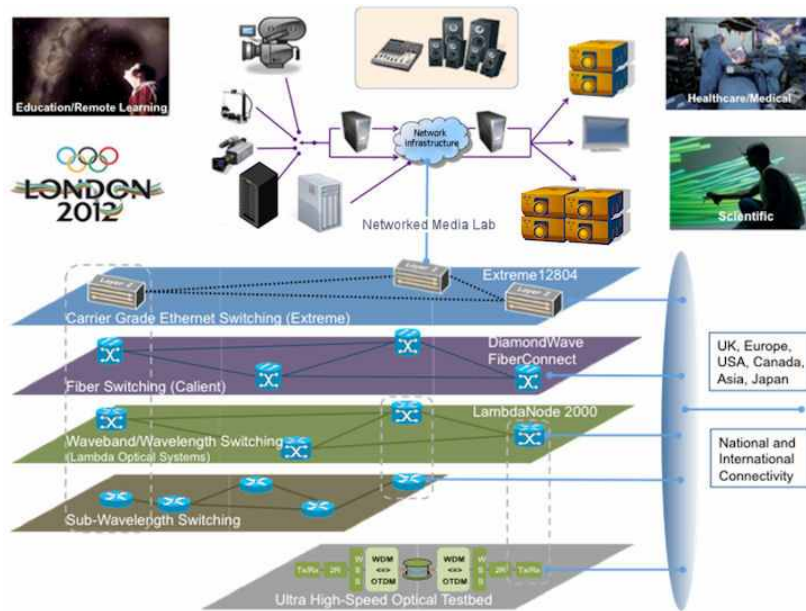


<그림10> G-Lambda NRM Architecture

버전 3에서는 버전 2와 동일한 WSRF 규격을 적용하며, 제공하는 서비스도 동일하다. 단, 각 서비스에서 제공하는 오퍼레이션 이름이 변경되었으며, 자원 변경 및 해제 관련 오퍼레이션이 재 정비되었다. 버전 3에서 제공하는 메시지는 자원 가용성 확인, 자원 예약, 예약 및 할당된 자원에 대한 정보 수집 그리고 기존 예약의 수정 및 취소 등이 있다. 버전 3에서는 WSRF 기반과 WSRF 기반이 아닌 GNS-WSI를 모두 제공한다. 또한 자원의 Lifetime과 Notification 및 Security 관련 설계는 선택사항으로 차후 확장 가능함을 제시하였다.

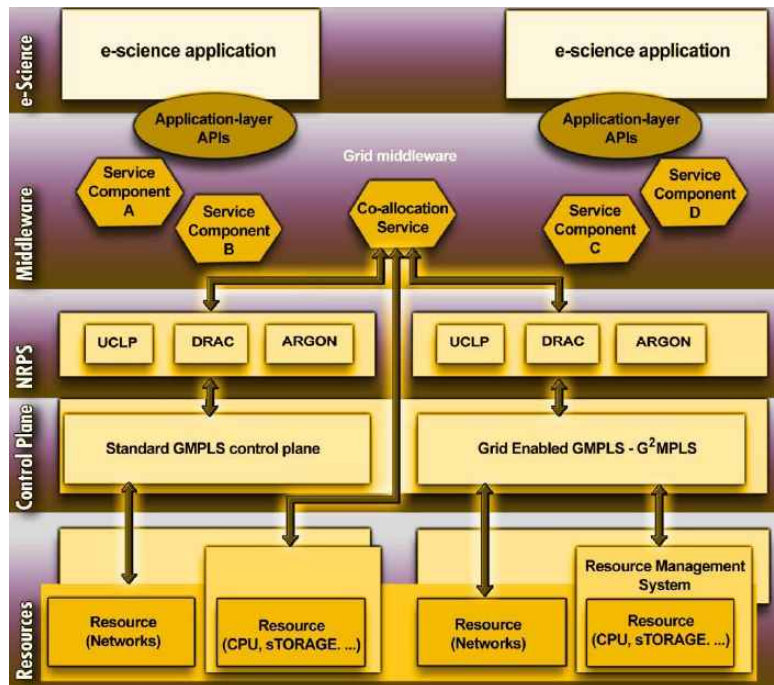
3. PHOSPHORUS

PHOSPHORUS는 유럽의 GEANT2 테스트 베드에서 ASON과 GMPLS를 이용하여 구성된 그리드 프로젝트이다. 이 프로젝트는 코어 네트워크와 그리드 자원들 사이의 상호 연관 관계를 제공하는 네트워크 자원 프로비저닝 시스템과 제어 평면을 정의한다. 또한 효율적인 방법으로 멀티 도메인에서 중단간 네트워크 서비스를 요구에 의한(on-demand) 서비스 요청이 가능하도록 핵심 기술의 정의가 목적이다. 이 프로젝트는 어플리케이션 미들웨어, 기존 네트워크의 자원 프로비저닝 시스템과 이 프로젝트에서 제안된 G2MPLS(Grid GMPLS) 사이의 수직·수평적 통신이 용이하도록 하는 작업을 수행한다. 다음 그림은 PHOSPHORUS의 전체 구조를 나타낸다.



<그림 11> PHOSPHORUS conceptual Architecture

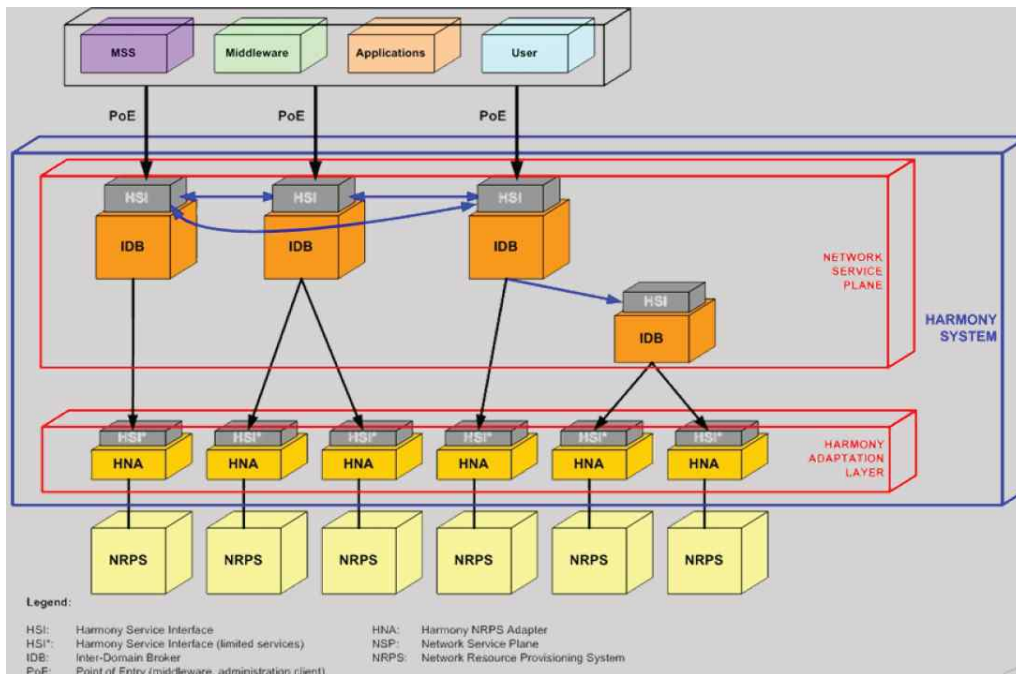
PHOSPHORUS는 네트워크와 그리드 자원을 통합된 형태로 제공하기 위하여 구현에 필요한 기본적인 컴포넌트의 집합인 서비스 평면, 멀티도메인들의 통신 및 네트워크 자원 관리를 수용하는 NRPS(Network Resource Provisioning System)와 네트워크 도메인들 사이의 상호연결을 제공하기 위한 제어평면으로 구성되어 있다. 또한, 제어평면에는 GMPLS에 그리드 네트워크 서비스를 강화시킨 G2MPLS가 있다.



<그림12> PHOSPHORUS Architecture

그리드 네트워크 자원의 상호 연관에 의한 할당은 개선된 서비스의 가용성을 보장하여 다양한 사용자 요구사항을 제공할 수 있게 된다. G2MPLS에서 그리드 사용자/어플리케이션과 그리드 자원들의 직접적인 상호연결이 가능하다. G2MPLS는 보다 빠른 동적 서비스 설정과 그리드와 네트워크 트랜잭션의 트리거(trigger)를 위한 체계화된 사용자 인터페이스를 제공한다.

PHOSPHORUS의 NSP(Network Service Plane)인 Harmony 시스템은 2008년 3월 OGF23에서 정의되었다. Harmony는 일반적인 AAA 툴킷을 이용하여 Authentication과 Authorization 인프라를 구현하였으며, 사용자들과 그리드 어플리케이션이 이기종 도메인들 사이의 네트워크 자원과 경로를 예약할 수 있는 여러 도메인 간의 경로 프로비저닝 시스템이다. 서로 다른 네트워크 자원 인프라를 요구할 지라도 이를 동적, 순응적으로 그리고 효과적으로 제공할 수 있도록 한다. Harmony 시스템의 구조는 다음 그림과 같다. Harmony 시스템에는 그리드 미들웨어와 NSP 사이인 NB-IF(Northbound Interface), NSP와 NRPS 사이의 E/W-IF(East/West Interface) 그리고 NSP와 G2MPLS 사이의 E-IF(External Interface) 인터페이스가 정의되어 있다. NB-IF에는 네트워크 예약 서비스인 Reservation 웹 서비스와 토폴로지 생성 서비스인 Topology 웹 서비스가 정의되어 있다.

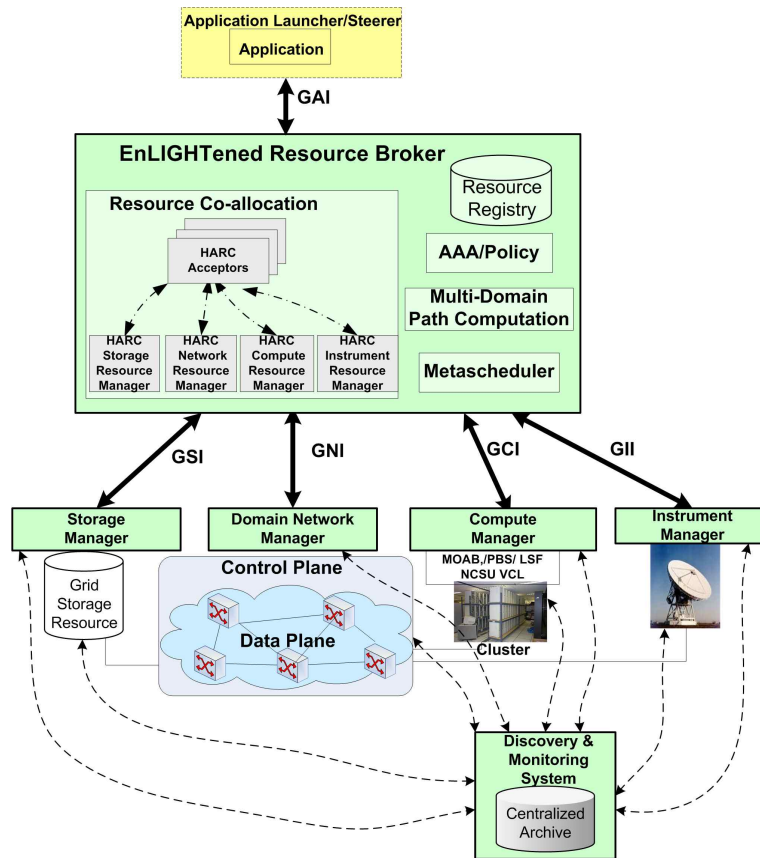


<그림13> Harmony System Architecture

E/W-IF에는 토폴로지의 이벤트를 관여하는 Notification 웹 서비스, 자원 예약과 관련된 Reservation 웹 서비스와 토폴로지 생성과 관련된 Topology 웹 서비스가 정의되어 있다. E-IF에서는 다른 프로젝트들과 통신하기 위한 인터페이스가 정의되어 있으며, G2MPLS에 그리드와 네트워크 설정을 트리거하기 위한 간단한 연결 설정 인터페이스가 있다. 차후 목표로는 NSP의 동배 간(peer-to-peer) 작업 오퍼레이션 확장과 NSP의 보안 인프라 정의를 계획하고 있다.

4. EnLIGHTened

EnLIGHTened는 미국의 National Lambda Railroad 테스트 베드를 이용하여 2005년에 시작한 프로젝트로, 자원의 동적 및 사전 예약 기능의 요청 지원을 위하여 그리드 미들웨어와 광 제어 평면의 상호 작업을 수행하도록 한다. EnLIGHTened의 목표는 지역적으로 분산되어 네트워크에 연결되어 있는 고성능 컴퓨팅과 장비의 자원들을 동적으로 적응력 있게, 동등하고 효율적으로 사용할 수 있도록 하는 것이다. EnLIGHTened의 구조는 다음 그림과 같다. EnLIGHTened는 EnLIGHTened Resource Broker와 Storage Manager, Computer Manager, Instrument Manager, 네트워크 자원을 관리 하는 Domain Network Manager 그리고 자원을 발견하고 모니터링하는 Discovery & Monitoring System으로 구성되어 있다.



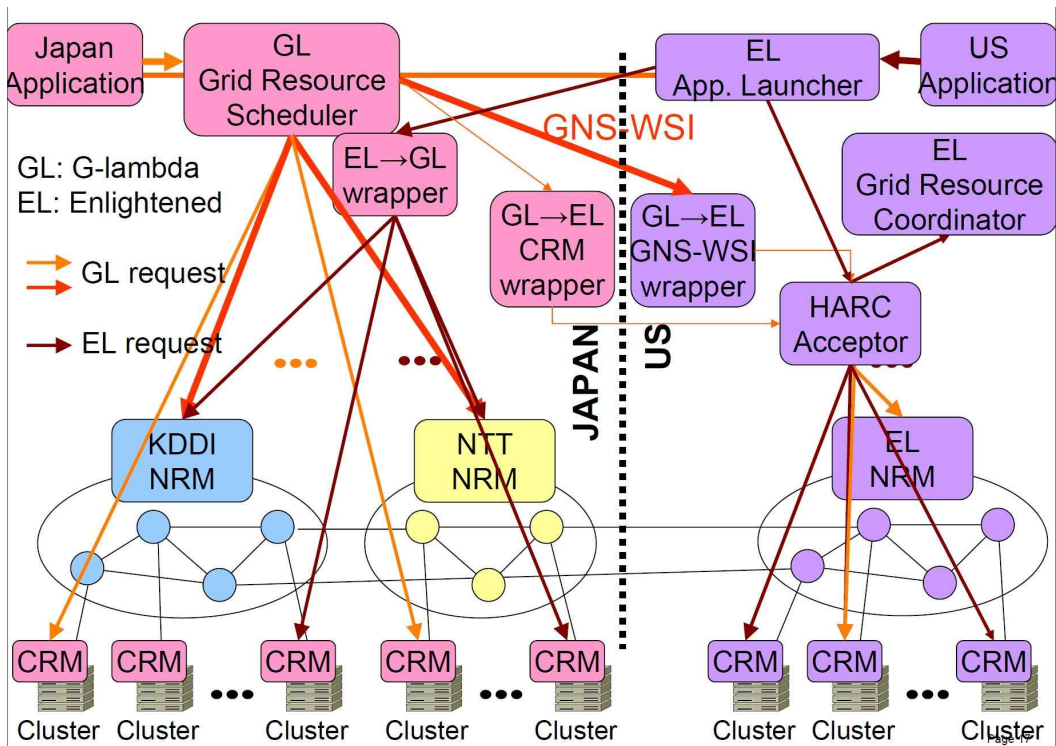
<그림14> EnLIGHTened Architecture

자원 저장소와 멀티도메인 경로 계산과 스케줄러 기능을 수행하는 EnLIGHTened Resource Broker는 미들웨어인 HARC(Highly-Available Resource Co-allocator)를 기반으로 구성되어 있다. HARC는 Storage, Network, Computer와 Instrument 자원 관리에 있어서 기본 어댑터 역할을 수행한다. 이는 높은 성능 컴퓨팅 자원과 단순 토폴로지의 GMPLS 기반 네트워크를 통한 광경로를 예약하기 위해 사용된다.

Domain Network Manager는 회선을 동적으로 설정하고 삭제하기 위한 네트워크의 자원 할당을 관여하기 위하여 GMPLS 제어 평면의 시그널링을 사용한다. 링크와 광 파장을 모두 네트워크 자원으로 보며 경로 계산, 네트워크 자원의 예약 시간 관리, 자원 할당 관리, 토폴로지 발견, AAA/정책 관리 및 요청 실패에 대한 처리를 수행한다. 네트워크 자원과 토폴로지의 발견은 분산 환경의 네트워크 자원을 실시간으로 탐지하는 Discovery & Monitoring System과의 상호 연결을 통해 수행된다.

EnLIGHTened는 G-Lambda 버전 2부터 서로 다른 도메인(inter-domain)으로 작용하여 협력 프로젝트를 진행하고 있다. 그림 2-11은 이들 두 프로젝트의 상호 협력을 위한 구성도를 나타낸다. 두 나라의 그리드 컴퓨팅 연구에서는 네트워크와 컴퓨팅 자원들 사이

의 자동화된 상호 작업 가능성을 시험하였다.



<그림15> Collaboration of G-Lambda and EnLIGHTened

통합된 컴퓨팅과 통신기술로 미국과 일본의 컴퓨팅 자원 뿐만 아니라 네트워크 대역폭의 자동화된 사전 예약을 시험하였다. 이는 네트워크 자원에 대하여 서로 다른 도메인 간의 협력 시험으로는 세계 최초이며, 자원 매니저들은 각 프로젝트에 맞는 인터페이스로 독립적으로 수행하였다.

[참고문헌]

- [1] IETF MPLS, "<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>"
- [2] 김대웅, "GMPLS 도입에 따른 기술 및 시장 동향 연구," 동국대 영상정보통신대학원, 2003.2.
- [3] IETF CCAMP, "<http://www.ietf.org/html.charters/ccamp-charter.html>"
- [4] Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks, "<http://dragon.east.isi.edu>"
- [5] "Virtual Label Switching Router Implementation Guide, version 2.1a" December, 2007
- [6] "Virtual Label Switching Router Implementation Guide, version 2.1b," April, 2008.

- [7] GEANT2 AutoBAHN, "<http://www.geant2.net>"
- [8] Chin P. Guok, David Robertson, Mary Thompson, Jason Lee, Brian Tierney, William Johnston, "Intra and Interdomain Circuit Provisioning Using the OSCARS Reservation System," October 2006, Third International Conference on Broadband Communications, Networks, and Systems, IEEE/ICST
- [9] Dynamic Circuit Network, "<http://www.internet2.edu/network/dc/>"
- [10] Guy Rovers, "Network Services Interface Working Group Network Group Guy," GLIF 2008.
- [11] G-lambda, "<http://www.g-lambda.net>"