하이브리드 연구망 기반의 분산 가상형 네트워크 운영 및 리소스 정보 관리 기술 연구

Distributed and Virtual Network Operations and Contents Management Based on Hybrid Research Networks

김동균*, 이명선*, 변옥환**, 김승해*

한국과학기술정보연구원 첨단연구망센터*, 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅센터**

DongKyun Kim(mirr@kisti.re.kr)*, Myung-Sun Lee(mslee@kisti.re.kr)*,
Ok-Hwan Byeon(ohbyeon@kisti.re.kr)**, Seung-Hae Kim(shkim@kisti.re.kr)*

요약

하이브리드 네트워크 인프라는 Internet2, SURFNet 등의 선도 연구망 커뮤니티에게 가장 우선적인 기술로 대두되고 있다. 그러나, 첨단(high-end) 응용의 종단 간 협업 연구를 위하여 필수적인 하이브리드 연구망 간의 인터도메인 협업 인프라는 실질적인 아키텍처의 설계와 구현에 있어서 아직도 많은 연구를 필요로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 하이브리드 연구망 기반의 분산 가상형 네트워크 운영과 리소스 정보 관리를 위한 프레임워크를 제안하고, 이를 기반으로 코어 시스템을 구현하였다. 제안된 프레임워크는 멀티도메인 하이브리드 연구망 운영과 관리를 위하여 분산형 아키텍처로 설계되었다. 분산 가상형 네트워크 운영 프레임워크는 네트워크 도메인 내에서 자치성과 독립적인 제어를 유지하면서 인터도메인 네트워크 간의 협업을 가능케 함으로써, 연구자 및 실험자가 스스로 생성한 가상 네트워크를 운영 관리 할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 제안된 프레임워크를 위한 세부적인 구조와 기술을 다루며, 이러한 환경이 어떻게 고성능 첨단(high-end) 응용을 위하여 활용될 수 있는지에 대하여 고찰한다.

■ 중심어 : 하이브리드 연구망 | 네트워크 운영관리 | 분산가상 네트워크 |

Abstract

Hybrid network infrastructure has been deployed as the most important technology for the advanced research networking community such as Internet2, SURFnet, etc. However, further research needs to be performed in terms of feasible design and implementation of architecture for inter-domain collaborative network infrastructure, which is essential to end-to-end collaborative research based on high-end applications. In this paper, we suggest a framework for distributed and virtual network operations based on hybrid research networks and efficient cooperation between multi-domain hybrid networks, which aims to provide collaborative network environment for high-end applications. Suggested framework is designed to adopt decentralized model of multi-domain hybrid research network management. A collaborative and distributed virtual model that is characterized by cooperation among hybrid research networks that insist on maintaining their autonomy and control, can also contribute for researchers and other end-users to manage and operate their own virtual networks.

■ keyword : Hybrid Research Network | Network Operations and Management | DvNOC | Information Management |

I. 서론

오늘날 하이브리드 연구망 인프라는 거의 대부분의 세계적 선도 국가 연구망에 구축되어 있다. 미국의 Internet2와 ESNet (Energy Science Network), 캐나다의 CANARIE Network, 유럽의 GEANT, SURFnet, NORDUnet, 아시아의 KREONet2 등이 선도 국가 연구망[1-7]이며, 하이브리드 연구망은 연구자들이 요구하는 기가비트급 대역폭(1Gbps - 100Gbps), 데이터 무손실, 제로 지터 등의 고성능 데이터 전송을 제공하는 엄격한 트래픽 분리 네트워크를 구현할 수 있다[8]. 이러한 고성능 네트워크는 주로 핵융합에너지 과학, 고에너지물리, 천체 데이터 분석, 고해상도 비디오 전송 등의 첨단(high-end) 어플리케이션을 지원하는 것을 목표로 한다. 즉, 하이브리드 연구망은 데이터그램이나 패킷이 3계층의 IP 네트워크를 거치지 않고 종단 간 데이터 전송될 수 있는 구조를 갖도록 설계되어, 첨단(high-end) 응용이 요구하는 높은 성능과 QoS를 보장한다. IP 네트워킹 환경은 거의 무한대의 종단 간 연결성을 지원하지만 성능을 보장하지 못한다는 단점이 있고, 기가비트 이더넷, STS 채널, 광경로 등의 연결지향 네트워킹 환경은 제한된 연결성을 가지는 한편 연구자나 첨단(high-end) 응용이 요구하는 성능과 품질을 충분히 제공할 수 있다. 따라서 하이브리드 연구망은 두 가지의 서로 다른 네트워크 환경, 즉 IP 기반의 최선형 네트워크 환경과, 1계층과 2계층 기반의 무혼잡(congestion-free) 연결 지향 네트워크 환경의 장점을 채택할 수 있도록 고안된 망 인프라 기술이다[8].

한편, 네트워크 운영과 관리는 모든 연구망 인프라를 위하여 가장 기본적이고 중요한 기술이다. 네트워크 운영 센터(NOC, Network Operations Center)는 일반적으로 텔레커뮤니케이션 네트워크, 엔터프라이즈 네트워크, 캠퍼스 네트워크 등을 위한 가장 핵심적인 서비스를 제공하여, 수천개의 라우터, 스위치, 광 교환기 등을 모니터링하고 네트워크를 안정적으로 유지할 수 있도록 한다.

하이브리드 연구망 인프라 역시 안정적인 망 운영을 위하여 이러한 전통적인 네트워크 운영 관리 기법을 필요로 하며, 이에 더하여 첨단(high-end) 어플리케이션

의 요구 사항인 협업 인프라를 제공하기 위하여 추가적인 기술 요소를 필요로 한다. 다시 말해서, 첨단 응용 관련 실험이 멀티 도메인 글로벌 네트워크 상의 종단 간 사용자들 간에 연결된 전용 광 경로를 기반으로 하기 때문에 (예를 들면 미국의 한 연구소와 네덜란드의 대학교가 종단 간 광 경로를 통해서 연동하는 경우), 새로운 연구망 기술 요소는 하이브리드 네트워킹 운영 기술뿐만 아니라 글로벌한 NOC-to-NOC 협업 기술을 반드시 고려해야 한다.

본 논문에서는 하이브리드 연구망을 기반으로 협업 인프라를 제공하기 위하여, 분산형의 가상화된 네트워크 운영 기술을 바탕으로 한 멀티 도메인 하이브리드 네트워크 간의 효율적인 협업 네트워크 프레임워크를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 프레임워크인 분산 가상형 하이브리드 네트워크 운영 센터(DvNOC, Distributed Virtual Network Operations Center)는 협업 네트워크 인프라를 구현하기 위하여 두 가지 형태의 NOC 아키텍처인 분산형 NOC (dNOC, distributed NOC)과 가상형 NOC (vNOC, virtual NOC)으로 구성된다. DvNOC의 기본적인 세 가지의 목표는 다음과 같으며, 세 가지의 목표를 달성하기 위한 기본적인 프레임워크는 각각 [그림 1][그림 2]과 같이 설계되었다.

- 멀티 도메인 네트워크 인지성 : DvNOC은 하이브리드 연구망 NOC이 종단간 구현된 네트워크의 전체 리소스 정보 (예 : 네트워크 토폴로지, 상태, 성능 등)를 획득할 수 있도록 자동화된 네트워크 리소스 교환을 수행해야 한다. 이러한 멀티 도메인 네트워크 리소스 공유는 인터 도메인 네트워크를 보다 쉽게 모니터링하고 관리할 수 있도록 해주며, 결국 연구나 실험을 목적으로 전용의 가상 네트워크를 필요로 하는 최종 사용자(연구실험자)에게 네트워크 정보를 공급할 수 있게 된다.
- 효율적인 NOC-to-NOC 협업 : 멀티 도메인 네트워크에 장애가 발생하여 문제를 해결할 필요가 있을 때, 한 네트워크의 NOC은 이웃 NOC과 통신하게 된다. 이때 전통적으로 사용되는 통신 방법은 주로 e-mail이나 전화를 이용하는 것으로 실시간 해결이 요구되는 경우 매우 비효율적이다. DvNOC은 각각의 NOC에게 가상화된 멀티 도메인 네트워크 모니터

링과 가상화된 문제 해결 공간을 제공함으로써 멀티 도메인 네트워크의 문제를 보다 효과적으로 해결할 수 있어야 한다.

- 사용자 기반 가상 네트워크(UoVN, User oriented Virtual Network) 관리 : 네트워크 운영자나 엔지니어에게 주로 국한된 NOC-to-NOC 협업과 더불어, 여전히 최종 사용자 기반의 네트워크 관리에 대한 이슈가 남아 있다. 일단 사용자가 스스로 활용할 수 있는 가상 네트워크를 생성하면 (예 : 광 경로로 구성된 중단간 글로벌 네트워크), 첨단(high-end) 어플리케이션 및 연구에 필요한 네트워크 품질과 성능을 보장할 수 있도록 가상 네트워크를 이용자 기반으로 모니터링하고 관리할 수 있어야만 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서 관련 연구를 다루고, 3장은 DvNOC의 전반적인 프레임워크와 리소스 정보 관리에 대하여 기술한다. 4장은 DvNOC의 상세한 아키텍처를 설명하고, 5장에서는 코어 시스템의 구현 및 시험과 제안된 프레임워크의 활용 방안을 기술하며, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 논문을 위한 몇 가지 관련 연구는 다음과 같다. 먼저 PerfSONAR[9]는 멀티 도메인 글로벌 네트워크의 성능 분석과 관리를 위해 설계된 연구망 모니터링 플랫폼이다. 기본적으로 PerfSONAR는 NOC과 성능분석팀(PERT, Performance Response Team)을 위하여 개발되었고, 중단간 광경로 모니터링을 포함한 다양한 네트워크 성능 분석 도구를 제공한다. 그러나 PerfSONAR는 계층별로 나누어진 토폴로지 가시화나 멀티 도메인 네트워크 상의 모니터링 기능은 가지고 있지 않다. 또한, 네트워크 리소스 공유 방법이나 운영상의 효율적인 문제 해결 기법은 보완되어야 할 점으로 DvNOC 구조는 이러한 문제를 보완하기 위하여 설계되었다.

CNMS(Coalition Network Management System)[10]은 네트워크 정책에 초점을 두고 멀티 도메인, 다중 국가 NOC을 위한 효율적인 운영 환경 개발을 목적으로 하고 있다. CNMS는 인터 도메인 네트워크에 문제

가 발생했을 때 하나의 NOC이 다른 NOC에게 제어권을 넘길 수 있도록 설계되었다. 즉, 1번 네트워크 도메인에 문제가 발생했지만 그 문제를 해결할 수 있는 상황이 되지 못한다면, 2번 네트워크 도메인의 NOC이 1번 네트워크 도메인의 제어권을 이양 받아 문제 해결을 도모할 수 있다. 이러한 네트워크 제어권 교환은 매우 엄격한 정책과 룰에 의해서 정의된다. CNMS는, 그러나, 확장 가능한 NOC-to-NOC 협업을 위한 대안은 제공하지 않는다. 예를 들면, CNMS 환경에서 새로운 NOC이 추가되면, 기존의 모든 NOC이 가지고 있던 정책, 규칙 집합(rule set), 그리고 관계 설정을 모두 수동적으로 갱신해야 하는 문제점을 가지고 있다. 따라서, DvNOC의 구조는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법을 제안하고 있다.

UCLPv2(User Controlled Lightpath version 2)[11]는 사용자 기반 가상 사설 네트워크 (APN, Articulated Private Network)를 구현할 수 있도록 캐나다의 CANARIE[3]가 개발한 기술이다. APN은 연구실험자가 웹 서비스를 이용하여 멀티 도메인 네트워크상의 네트워킹 및 컴퓨팅 리소스를 획득하고 이를 통한 가상 네트워킹 환경을 생성한다. 각각의 연구실험자는 APN을 생성함으로써 해당 APN 내에서 아무런 제한 없이 새로운 가상 네트워크를 만들어 실험이나 연구에 이용한다. 이러한 개념은 매우 혁신적이거나, 멀티 도메인 네트워크상에서 리소스를 예약하기 위해서는 관련된 개별 NOC들이 필요한 리소스를 제공해야 한다는 제약점을 가진다. APN이 멀티 도메인 네트워크의 리소스 할당을 요구하면, NOC과 NOC 사이에 수동적 혹은 자동적으로 통신할 수 있는 방법이 필요하며, 이를 통하여 네트워크 보안 등 운영 관리상의 문제점이 발생하지 않는 범위 내에서 APN에게 요청된 리소스를 제공할 수 있다. 본 논문에서 제안된 DvNOC 프레임워크는 상호 협력적인 가상 NOC 프레임워크의 개발을 위하여 UCLPv2의 APN 개념을 참조하였으며, 이를 통하여 글로벌 연구실험이 가능하도록 사용자 기반의 가상 네트워크 생성을 위한 자동화된 NOC-to-NOC 통신 및 협업 환경을 제안한다.

NDL(Network Description Language)[12]은 국가 연구망과 GOLE (GLIF Open Lightpath Exchange)[13]의

네트워크 노드, 교환 연결(cross-connects), 노드와 노드의 back-to-back 연결 등을 표현할 수 있는 방법을 제공한다. GLIF(Global Lambda Integrated Facility) [15]를 통하여 배포된 TL1 톨킷[14]의 경우, NDL을 사용하여 범국가적인 인터 도메인 네트워크를 광경로 연동 관점에서 추상화한다. 본 논문의 DvNOC 구조는 네트워크 리소스 정보를 표현하고 관련된 NOC과 교환할 수 있도록 NDL을 채택하였다. 또한 DvNOC의 프레임워크상에서 NDL을 확장하여 광경로를 검색할 수 있도록 설계하였으며 이에 따라 네트워크 엔지니어/운영 뿐만 아니라 연구실험자들이 광경로의 가용성과 함께 네트워크 노드나 인터페이스 정보, 그리고 부가적인 관리 정보를 획득할 수 있는 효과가 있다.

GLIF[15]는 국제적인 하이브리드 연구망 NOC과 GOLE의 광경로 연동과 운영을 대상으로 한 구조적인 접근 방법으로써 네트워크 문제 해결 프로시저를 제안하였다. DvNOC은 기본적으로 이 프로시저를 따르도록 고안되었고, CNMS가 소개한 네트워크 제어 교환 기술과 함께 UCLPV2의 가상 네트워크 개념을 채택하였다. 따라서 DvNOC은 각각의 NOC이 작업 시간이나 제어 한계 등이 정의된 네트워크 정책을 바탕으로 인터 도메인 네트워크의 특정한 리소스에 대한 제어 권한을 교환할 수 있도록 하여, 멀티 도메인 네트워크상에서 가상 네트워크 운영과 리소스 정보 관리가 가능하도록 지원하도록 설계되었다.

III. DvNOC 프레임워크 및 리소스 정보 관리

본 논문에서 제안하는 DvNOC 프레임워크는 두 가지의 핵심 요소인 dNOC과 vNOC 구조로 구성되어 있다. DvNOC 프레임워크는 논리적으로 dNOC과 vNOC을 구분하는 계층적인 모델을 채용하여 전통적인 NOC에 근거한 네트워크 기능과 여기에 추가된 새로운 협업 네트워크 운영 관리에 대한 요구 사항을 고려하였고, 하이브리드 연구망 NOC과 연구실험자들이 협업 가능한 네트워크를 운영할 수 있도록 가상형 오버레이 아키텍처를 설계하였다. [그림 1]은 이러한 DvNOC의 전반적인 구조를 나타내며, 어떻게 dNOC과 vNOC이 상호

연동될 수 있는지 보여준다.

그림 1. 분산 가상형 망 운영센터의 기본 아키텍처

[그림 1]에서 dNOC은 하이브리드 연구망 도메인을 운영하는 일반적인 NOC 서비스뿐만 아니라 새로운 네트워크 리소스 정보를 저장하고 관리할 수 있는 정보 베이스를 가진다. 전통적인 네트워크 운영은 장비 관리, 네트워크 장애 관리, 설치 관리, 회선 연결 등을 포함한다. 본 논문에서 제안된 네트워크 정보 베이스는 이러한 일반적인 NOC의 기능에 추가된 dNOC의 핵심 기능 요소이다. 즉, 네트워크 정보 베이스는 SNMP나 TL1, CLI (Command Line Interface)등의 네트워크 관리 프로토콜을 이용하여 다양한 타입의 네트워크 장비로부터 데이터를 획득하고 저장하기 위한 네트워크 리소스 저장소이다. 네트워크 리소스 정보를 네트워크 정보 베이스에 저장함으로써, dNOC이 대응 vNOC과 관련 정보를 교환할 수 있다.

[그림 1]과 같이, dNOC과 vNOC은 하나의 하이브리드 연구망 도메인에서 DvNOC으로 동작한다. DvNOC 구조를 채용하는 다른 네트워크 도메인들이 있다면, 이들은 모두 dvNOC 그룹에 속하게 된다. dvNOC 그룹의 멤버는 vNOC이 생성하는 가상 네트워크 인터페이스를 기반으로 다른 멤버들과 통신할 수 있다. 따라서, 하나의 dNOC은 같은 도메인의 대응 vNOC과 통신하고, 대응 vNOC은 다른 도메인의 vNOC과 상호작용을 통하여 네트워크 리소스 정보를 공유함으로써, 결과적으로 dvNOC 그룹에 속한 모든 멤버들이 함께 가상 네트워크를 운영하고 관련 리소스 정보를 관리할 수 있는 가상 네트워크 협업 환경을 생성할 수 있는 구조를 갖게 된다.

그림 2. vNOC/dNOC 프레임워크

[그림 2]에서 볼 수 있듯이, dNOC은 전통적인 NOC 환경과 비교하여, 두 가지 추가적인 기능 요소인 계층적 네트워크 관리 시스템(LNMS, layered network management system)과 동적 광 경로 제공 시스템(DLPS, dynamic lightpath provisioning system)을 갖추도록 설계되었다. dNOC의 차별성과 우수성은 네트워크 관리를 계층적으로 관리할 수 있다는 것과 더불어, 동적 광 경로 제공 시스템의 경우 네트워크 모니터링, 성능 측정, 광 경로 등의 리소스 상태 정보 저장 등을 수행할 수 있다는 데 있다. 개방적이면서 공유 가능한 협업 네트워크 인프라 구현을 위해서 리소스 저장소가 가장 중요한 기능이며, 리소스 저장소의 주요 정보는 물리/가상 노드, 인터페이스, 회선 등으로부터 광 경로 모니터링 상태, 사용자 정보 등까지 매우 다양하다. 보다 자세한 저장소의 스키마와 함께, vNOC 구조를 위한 핵심 기술 요소와 인터페이스는 다음 장에서 자세히 기술된다.

IV. DvNOC 아키텍처와 코어시스템

1. 분산형 NOC (dNOC)의 구조와 기능

분산형 NOC (dNOC)의 기본 목표는 네트워크 리소스 저장소, 계층적 네트워크 모니터링/관리 시스템, 동적 광경로 제공 시스템으로부터 분산된 네트워크 정보 베이스를 생성하는 것이다. 이러한 시스템을 기반으로 하여, dNOC은 분산된 로컬 정보 베이스를 유지하고, vNOC 인터페이스를 이용하여 다른 dNOC의 리소스

정보를 얻어오게 된다. 예를 들어, dNOC의 리소스 저장소는 자체적인 네트워크 리소스 정보(네트워크 장비, 인터페이스, 포트, 연결 등)를 수집한 후에, 다른 네트워크의 리소스 정보를 수집하려고 시도하는데, 이때 같은 도메인의 대응 vNOC과 먼저 통신을 하게 된다. 대응 vNOC은 다른 도메인의 vNOC과 연결하여 네트워크 리소스 정보를 주고받게 된다. 그리고 이러한 과정을 반복하면 결과적으로 각각의 dNOC에 위치한 모든 리소스 저장소가 분산된 형태로 모든 dvNOC의 정보 베이스에 대한 완전한 글로벌 뷰를 갖추게 된다. dNOC의 리소스 저장소는 네트워크와 함께 사용자 정보 역시 저장하도록 설계되어 있다. 따라서 vNOC은 사용자들 간의 종단 간 연결 정보를 유지 관리하며 이를 이용자와 함께 공유할 수 있다. [그림 3]은 본 논문을 위해서 설계된 DvNOC의 네트워크 리소스 저장소를 위한 데이터 스키마이다.

그림 3. 네트워크 리소스 스키마

계층적 네트워크 관리 시스템(LNMS)은 1계층 네트워크부터 3계층 까지 거의 실시간으로 하이브리드 연구망의 성능과 상태를 모니터링하여, OXC, SONET/SDH 장비, 이더넷 스위치, 라우터 등과 같은 모든 네트워크 계층별 네트워크 인프라를 관리할 수 있도록 고안되었다. LNMS는 네트워크 리소스 저장소로부터 관련 정보를 읽거나 저장하면서 라우팅 경로와 광 경로를 동시에 관리할 수 있는 방법을 제공한다.

동적 광경로 제공 시스템(DLPS)는 첨단 응용과 시험

의 요구에 따라 혼잡 없는 중단간 경로가 온 디맨드나 스케줄링 기반으로 설정한다. dNOC은 현재 개발 및 적용되고 있는 여러 동적 광경로 제공 시스템 중에서 한 시스템을 선택함으로써 각각의 dNOC이 개별적인 광 경로 제공 시스템을 사용할 수 있으나, 모든 vNOC은 표준 인터페이스를 사용해야만 한다. 이러한 표준 인터페이스를 기반으로 인터 도메인과 다중 국가적인 광 경로가 상호 호환성을 보장하면서, 중단 간에 효율적으로 구성될 수 있기 때문이다.

DvNOC에서 DLPS는 글로벌 네트워크를 거쳐 구현되는 적절한 광 경로 정보를 얻기 위하여, 네트워크 리소스 저장소에 있는 정보를 참조한다. 멀티 도메인 광 경로 제공을 위한 표준 인터페이스는 다음 섹션에 기술될 가상형 NOC 구조에서 소개하였다.

2. 가상형 NOC (vNOC)의 구조와 기능

가상형 NOC (vNOC)은 dvNOC 도메인 간에 네트워크 리소스 정보를 공유하고 분산시키기 위한 목적으로 설계되었다. vNOC 프레임워크는 높은 수준의 보안을 통한 네트워크 리소스 정보 교환을 위하여 보안 웹 서비스 구조를 필요로 한다. 보안 웹 서비스를 이용하여, dNOC이 지역적으로 수집한 네트워크 정보가 XML 포맷으로 매핑되어 vNOC 사이에서 공유된다. 웹 서비스 기반의 정보 교환 인프라를 구축하는 것은 vNOC 프레임워크에서 가장 기본적인 기능으로, 특정한 네트워크 인스턴스를 바탕으로 가상적인 네트워크 운영 관리 공간을 생성하는 역할을 한다.

vNOC 프레임워크는 네 개의 기능 요소, 즉, vRES (Virtual Network Resources), vMAN (Virtual Network Management), vLIGHT (Virtual Lightpath Provisioning), vCON (Virtual Network Trouble Control)을 포함한다. vNOC은 또한 세 가지의 인터페이스를 요구하는데, 이들은 GUI (Graphical User Interface), 데이터 처리 인터페이스, 제어 처리 인터페이스이다. vNOC의 GUI는 사용자나 오퍼레이터가 dvNOC의 특정한 서비스를 선택하고 아래에 설명될 기능들과 상호 작용하기 위한 인터페이스이다. 데이터와 제어 메시지는 vNOC 간에 보안 웹 서비스를 이용하여

상호 교환된다.

vRES는 네트워크 정보 교환, 정보 질의, 통합 토폴로지 생성 기능을 지원한다. 통합 토폴로지 생성 기능은 dNOC의 LNMS에 연결된 가시화 인터페이스를 갖는다. 네트워크 리소스 저장소의 데이터 스키마를 기반으로 변환된 XML 메시지는 보안 웹 서비스 인터페이스를 통해서 vRES 들 간에 교환되고, 사용자나 네트워크 오퍼레이터가 질의할 수 있도록 각각의 로컬 리소스 저장소에 저장된다. 즉, DvNOC도메인에 있는 한 vRES는 다른 도메인의 vRES들과 통신하고 로컬 네트워크에서 수집한 데이터를 상호 교환함으로써, 가상 네트워크 상의 모든 사용 가능한 리소스 정보를 획득할 수 있다.

vRES의 데이터 교환 모듈은 리소스 명세서를 이용한다. 리소스 명세서는 일반적으로 광 경로가 특정한 시간대에 사용되므로, 특정한 타임 윈도우를 갖는 가용한 네트워크 리소스를 포함해야 한다. [표 1]와 같이 본 논문을 통하여 개발된 네트워크 리소스 명세서는 어떤 종류의 정보가 DvNOC 시스템 전반의 사용 가능 네트워크 리소스 정보를 찾기 위해서 교환되어야 하는지 보여준다.

[표 1]의 리소스 명세서는 멀티 도메인의 중단 간 광 경로의 한 부분인 두 개의 네트워크 도메인 상에서 설정된 하나의 광 경로를 위한 예약된 리소스 정보를 포함한다. 다시 말해서, 한 부분의 광 경로 정보는 다른 부분의 광 경로 정보와 조합될 수 있고, 이러한 리소스 정보 메시지가 차례로 조립되면, 각각의 dvNOC 도메인이 중단 간 광 경로 정보를 얻을 수 있다. 이 명세서는 NDL (Network Description Language)[12]과 호환성이 있으면서 DvNOC의 기능에 부합하도록 개발되었다. 현재 NDL은 전 세계적으로 연결된 GLIF 네트워크[13]의 명세를 위하여 적용 및 사용되고 있으므로, 향후 DvNOC의 협업 네트워크 인프라를 글로벌하게 확장 가능하다.

부가적으로, vRES는 네트워크 관리 인터페이스를 가지고 계층별 네트워크 토폴로지를 생성하도록 설계되었다. vRES를 사용하면, 네트워크 사용자들이 보다 자세한 계층별 네트워크 정보를 바탕으로 전반적인 멀티 도메인 네트워크 상의 현재 상태와 리소스 정보를 알 수 있다. vMAN은 이러한 네트워크 관리 관점에서

vRES와 매우 밀접하게 관련되어 있다.

표 1. 네트워크 리소스 명세서

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:ndl="http://www.science.uva.nl/research/sne/ndl#"
  xmlns:grdl="http://www.gloriad.org/grdl#"?>
  <grdl:lightpath> <grdl:id> lp:01-dae:sea-10G</grdl: id>
  <grdl: section start="Daejeon:KR" end="Chicago:US"/>
  <grdl:bandwidth ndl:capacity="1.244E+09"/>
  <grdl:protocol uni="10GigabitEthernet" nni="SONET"/>
  <grdl:timeframe start="03-22-2007:10:00:00"
    end="03-30-2007:10:00:00"/>
  <grdl:userA>
  <grdl:name>KISTI</grdl:name>
  <grdl:contact name="Gu" e-mail="gu@kisti.re.kr" phone
    ="82-42-869-0123"/>
  <grdl:connection ndl:name
    ="www.kisti.re.kr#Force10-E300:ten2/1"
    ndl:connectedTo="www.krlight.net#Force10-E600:ten10/5"
    ndl:capacity="1.250E+09" />
    <grdl:application>OptIPuter</grdl:application>
  </grdl:userA>
  <grdl:netA>
  <grdl:name>KRLight:GLORIAD-KR</grdl:name>
  <grdl:contact name="Dongkyun Kim" e-mail=""
    phone="82-42-869-0516"/>
  <grdl:connection ndl:name
    e="www.krlight.net#Force10-E600:ten10/5"
    ndl:connectedTo="www.kisti.re.kr#Force10-E300:ten2/1"
    ndl:capacity="1.250E+09"/>
  <grdl:connection ndl:name
    e="www.krlight.net#Force10-E600:ten1/2"
    ndl:connectedTo="www.krlight.net#ONS15600:3/1"
    XconnectedTo="www.krlight.net#ONS15600:4/1"
    ndl:capacity="1.244E+09"/>
  <grdl:connection ndl:name="www.krlight.net#ONS15600:4/1"
    ndl:connectedTo="www.canarie.ca#ONS15454:15/1"
    ndl:capacity="1.244E+09"/>
  </grdl:netA>
  <!--grdl:netB abbreviated-->
</grdl: lightpath>
```

[그림 4]와 같이, vMAN은 네트워크 리소스 저장소로부터 관리 데이터를 수집하고 vRES와 바인딩하여 링크 업/다운, 트래픽/성능 상태 등과 같은 모니터링 및 관리 정보를 표현하는 계층적 네트워크 가시화를 제공한다. 네트워크 토폴로지 가시화는 또한 vLIGHT 및 vCON과 연협하여 종단 간 광 경로 정보와 장애 티켓 정보를 각각 공유할 수 있다.

그림 4. 계층적 네트워크 토폴로지 관리

vLIGHT은 가상의 광경로 제공 시스템으로 로컬 광 경로 시스템을 통합하는 일종의 시스템들의 시스템(a system of systems)이다. 현재 10여개 이상의 동적 광 경로 시스템이 개발되었거나 적용되고 있으며 예를 들면 DCN, DRAC, HPDM, G-Lambda, LambdaStation, UCLP 등이다. vLIGHT은 이러한 로컬 동적 광 경로 시스템들 간에 관련 리소스 정보를 공유할 뿐만 아니라 정의된 표준 인터페이스를 가지고 멀티 도메인 광 경로의 제어 메시지를 교환할 수 있는 가상공간을 제공하기 위해서 고안되었다.

[그림 5]는 vLIGHT 기반의 데이터 플로우 다이어그램이다. 이 그림에서 vLIGHT은 다섯 가지의 기능 요소로 구성되어 있다. 먼저 사용자 인터페이스는 광 경로 설정 요구와 함께 특정 시간대의 가능한 리소스에 대한 질의를 받을 수 있다. [그림 5]를 보면 어떻게 질의가 네트워크 리소스 저장소 및 다른 vLIGHT의 기능 요소 기반으로 처리되는지 알 수 있다. 광경로 요청 메시지는 웹 서비스 인터페이스나 TLI과 같은 네이티브 설정 명령어를 이용하여 dNOC의 로컬 광 경로 제공 시스템과 통신하는 리소스 핸들러로 전달된다. 리소스 핸들러는 또한 새로운 요청 메시지를 리소스 저장소에 저장하기 위하여 XML 변환기 및 파서와 상호 동작한다. 이러한 과정을 통해서 결과적으로 리소스 핸들러는 요청 메시지를 vNOC의 데이터/제어 핸들러와 보안 웹 인터페이스를 통하여 다른 dvNOC의 vLIGHT 모듈에게 보내

게 된다.

그림 5. vLIGHT 기반 데이터 플로우

한편, 일반적으로 한 국가에는 각 국가 연구망뿐만 아니라 국제 연구망을 위한 노드를 제어하는 한 개 혹은 그 이상의 NOC이 존재한다. 국제 연구망 연결 관점에서 보면, 개별적인 NOC은 다른 국가의 NOC이 운영 관리 하는 네트워크에 연결된 국제망 연결 노드(라우터 혹은 스위치)를 유지하고 제어한다. 일반적으로 각각의 NOC은 자신의 도메인 내에서 관리하는 네트워크에 발생하는 문제를 쉽게 탐지해서 해결할 수 있다. 하지만, 해당 NOC이 관리하는 노드에 연결된 이웃 NOC의 장비나 네트워크에 문제가 발생하면 그 문제가 해결되기 전까지 이메일이나 전화로 연락하는 방법 이외에는 장애가 해결되기 전까지 기다려야 한다. 이런 종류의 비효율적인 과정 및 워크 플로우가 지금까지 일반적인 NOC-to-NOC 협력에서 일어나는 현상이었다.

[그림 4]의 vCON은 이러한 전통적인 방식의 비효율적인 NOC-to-NOC 협력을 개선하려는 시도로 설계되었으며, 네트워크 장애에 관련된 장애 티켓을 발행하고 담당자에게 부여하는 역할과 함께 dvNOC 도메인에 속한 국제 연구망의 제어권을 분산 환경에서 교환하는 기능을 가지고 있다. 물론 네트워크 OS 장애, 인터페이스 카드 문제, 광케이블 절단 등과 같은 예외적인 하드웨어 장애의 경우는 제외된다. 분산 운영이 가능해지기 위해서는 우선 vCON이 네트워크 리소스 정보를 획득

할 수 있어야 한다. vCON은 주로 vRES와 vMAN에 의존하여 네트워크 리소스 정보를 얻고, vRES는 vCON에게 계층적인 네트워크 토폴로지 정보를 제공하여 각각의 dvNOC이 어떤 계층의 하이브리드 연구망에 문제가 발생했는지 알려준다. vMAN은 네트워크 엔지니어들이 네트워크의 상태, 트래픽 현황, 성능 분석 등을 수행할 수 있는 환경을 제공함으로써, 엔지니어들이 얼마나 많은 트래픽이 발생하고 있는지, 누가 국제망의 특정한 경로에 트래픽을 발생시키는지를 인지할 수 있도록 해준다. vMAN과 함께 dNOC에 이미 구축되어 있는 기본적인 모니터링 툴인 ping, traceroute, MRTG 등은 BGP 라우팅 이상과 같은 다른 네트워크 장애에 대한 기초적인 정보를 제공해 줄 수 있다.

언급된 모든 시스템으로부터 수집된 모니터링 정보에 근거하여, 네트워크 엔지니어들이 문제를 탐지하고, 문제가 탐지되면 vCON에 문제를 보고하여 장애 티켓을 발행하며, 이 티켓은 차례로 DvNOC 도메인의 모든 멤버들에게 전달된다. 첫 번째로 문제를 탐지한 엔지니어는 해당 장애를 자신의 DvNOC에 할당하거나, 혹은 다른 dvNOC 멤버에게 할당할 수도 있다. vCON은 활용 가능한 (이미 등록된) 네트워크 엔지니어의 휴먼 리소스와 업무 가능한 시간대를 조사하고, 해당 티켓을 적절한 엔지니어에게 할당한다. 장애 티켓이 할당되면, 장애 제어 브로커가 AAA(Authentication, Authorization, Accounting) 기능을 실행시킴으로써 할당된 엔지니어가 장애 발생 노드에 (이미 정의된 레벨의 액세스 허용 정책에 의거하여) 접근할 수 있도록 한다. 원격 노드에 접근할 수 있는 권한을 제공하는데 있어서 한 가지 중요한 점은 제어 경로가 vCON의 관리 하에 있어야 한다는 것이다. 그 이유는 액세스 제어가 보안이 보장된 연결을 통해서 이루어져야 하고, 데이터 경로의 경우 발생한 네트워크 장애 때문에 사용하지 못할 수도 있기 때문이다.

이러한 과정을 거쳐, vCON은 DvNOC 도메인에 있는 특정 네트워크 엔지니어에게 제어 원도우를 할당한다. 즉, 해당 엔지니어가 vCON에 의해서 생성된 일정한 범위의 작업 시간 동안 정의된 액세스 정책을 기반으로 하여, CLI, SNMP, TL1 등의 환경을 바탕으로 모든 가용한 네트워크 리소스를 제어하게 된다. 할당된 장애가

정해진 작업 시간 내에 해결된다면, 생성된 티켓은 종료된다. 그렇지 않다면, 장애 티켓이 유지되고 위에서 언급된 vCON 워크 플로우에 의해서 다른 엔지니어에게 할당되며, 이러한 방법으로 네트워크 리소스에 관련된 정보가 분산된 방법으로 제어 및 관리될 수 있다.

V. 코어 시스템 구현/시험 및 리소스 정보관리 프레임워크의 활용

DvNOC은 기본적으로 네트워크 엔지니어, 운영자, 그리고 연구/실험자 및 개발자들이 그들 스스로 자신들에게 할당된 가상 네트워크를 운영 및 관리할 수 있도록 설계되었다. 한 사용자가 자신의 가상 네트워크 뷰를 활용할 수 있다면, 해당 사용자는 네트워크 운영자들만이 할 수 있었던 관리 작업을 자신의 가상 스페이스에서 수행할 수 있게 된다. 본문을 통하여 기술된 DvNOC의 프레임워크와 아키텍처를 기반으로 현재 [그림 6]과 같이 코어 시스템이 구현되었고, 미국 NSF가 지원하는 GENI [16] 프로젝트 중 GMOC(GENI Meta Operations Center) [17]과 함께 한-미 국제공동 연구인 K-GENI [18] 과제를 수행함으로써, 협업 인프라를 위한 네트워크 리소스 정보 교환과 글로벌 모니터링을 성공적으로 시험하였다.

구현된 코어 시스템은 코어 스키마를 기반으로 한 DvNOC의 로컬 네트워크 리소스 리포지토리, 협업 인프라를 위한 DvNOC의 글로벌 네트워크 리소스 정보 교환 및 관리 시스템 및 글로벌 뷰와 함께, 중단 간 사용자 기반 가상 네트워크 관리를 위한 기술을 포함한다.

그림 6. DvNOC 코어 시스템(로컬/글로벌 뷰) 구현

구현된 DvNOC 코어 시스템은 [그림 7]과 같은 가상 네트워크를 동적으로 구현하고 글로벌하게 리소스 정보관리를 수행할 수 있도록 활용될 수 있을 것이다. [그림 7]은 한국과 노르웨이 사이의 첨단(high-end) 원격 의료응용을 위해 생성된 사용자 기반의 가상 네트워크로, 메디컬 응용의 개발과 시험에 전용으로 할당되었고 혼잡 없는 고성능의 광 경로로써 데이터그램 무선실, 제로 지터, 최적화된 지연시간 등의 특징을 갖는다. 이러한 가상 협업 인프라는 대상 첨단 응용의 효율적인 실험과 연구를 위하여 이용자에게 특화된 특별한 형태의 네트워크 운영과 관리를 요구하므로, DvNOC과 같은 프레임워크의 활용 기반으로 매우 적합하다.

그림 7. 한-노르웨이 가상 네트워크 구조도

VI. 결론 및 향후 연구 내용

DvNOC은 멀티 도메인의 하이브리드 연구망 관리와

사용자 기반 가상 네트워크 관리를 위한 분산 환경을 제공하기 위하여 설계되었고, 코어 시스템은 미국의 GENI 프로젝트와 국제공동연구를 통하여 구현 및 시험되었다. 본 논문에서 제안된 하이브리드 연구망 기반의 협력 가능하고 분산된 가상 네트워크 모델을 채택한다면 연구 실험자, 엔지니어, 운영자 모두가 자체적인 가상 네트워크를 효율적으로 관리하고 운영하는데 활용될 수 있다. DvNOC의 향후 연구 내용으로는 보다 상세한 리소스 교환 명세서의 설계, PerfSONAR와 같은 기존의 시스템과 리소스 정보를 교환할 수 있는 어댑터의 개발, 엄격한 액세스 정책 관리 알고리즘의 설계, 네트워크 리소스 정보의 신속한 수렴 기술 개발 등이 고려된다.

참고 문헌

- [1] <http://www.internet2.edu>
- [2] <http://www.es.net>
- [3] <http://www.canarie.ca>
- [4] <http://www.geant.net/pages/home.aspx>
- [5] <http://www.surfnet.nl/en/nieuws/Pages/World-widedistributionofLargeHadronColliderdatathroughSURFnetandNetherLight.aspx>
- [6] Lars Fischer, "Lambda Networking," 2nd Chinese-Nordic Network Workshop, 2007.
- [7] Dongkyun Kim and Sanggyun Kim, "Meso-Scale FI Testbed Deployment on Korean R&E Networks," 3rd Future Internet Testbed and Research Workshop, 2011.
- [8] Harvey Newman, "LHC: A New Window on the Universe Frontiers of HEP & Cyberinfrastructure," 8th Global Lambda Grid Workshop, 2008.
- [9] <http://www.perfsonar.net/>
- [10] S. Shyne, "Distributed Multi-National Network Operation Centres," IEEE MILCOM2004, Vol.2, pp.598-602, 2004.
- [11] E. Grasa, "UCLPv2: A Network Virtualization Framework built on Web Services [Web

Services in Telecommunications, partIII], "IEEE Communications Magazine, Vol.46, pp.126-134, 2008.

- [12] Jeroen van der Ham, "A Distributed Topology Information System for Optical Networks Based on the Semantic Web," Optical Switching and Networking 5(2-3), Vol.5, Issues2-3, pp.85-93, 2008.
- [13] <http://www.glif.is/resources/>
- [14] <https://noc.sara.nl/nrg/TL1-Toolkit/>
- [15] <http://www.glif.is>
- [16] <http://www.geni.net>
- [17] <http://globalnoc.iu.edu/gmoc/index/about-gmoc.html>
- [18] <http://groups.geni.net/geni/wiki/K-GENI>
- [19] <http://134.75.43.200:8080/client.action>
- [20] 김현중, "멀티미디어 서비스 품질 제어를 위한 QoS 파라미터와 QoS 요소간의 연동 제어 시스템 설계", 한국콘텐츠학회논문지, 제10권, 제4호, pp.45-54, 2010

저자 소개

김 동 균(DongKyun Kim)

정회원

- 1996년 2월 : 한남대학교 컴퓨터 공학과 졸업(학사)
- 1999년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 과학과 졸업(석사)
- 2005년 2월 : 충남대학교 컴퓨터 과학과 졸업(박사)
- 2006년 4월 ~ 2007년 3월 : 미국 테네시대학교(UT)/오크리지국립연구소 방문연구원
- 2000년 6월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원(KISTI) 선임연구원

<관심분야> : 글로벌연구망, 미래인터넷, 그린 네트워킹

이 명 선(Myung-Sun Lee)

정회원

- 1983년 2월 : 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1996년 8월 : 한남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
- 2005년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

▪ 1983년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원

<관심분야> : 정보보안, 정보처리, 정보통신, 정보시스템

변 옥 환(Ok-Hwan Byeon)

정회원

- 1979년 : 한국항공대학교 통신정보학과 학사
- 1993년 : 경희대학교 전자공학과 박사
- 1978년 ~ 현재 : KIST, SERI, ETRI, KISTI 슈퍼컴퓨팅센터

책임연구원

▪ 1997년, 2010년 : 일리노이대학(UIUC) 초청연구원

<관심분야> : 고성능네트워킹 시스템, e-Science응용, 국가사이버인프라생태계구축

김 승 해(Seung-Hae Kim)

정회원

- 1996년 : 한남대학교 정보통신공학과 졸업(학사)
- 2003년 : 전북대학교 대학원 정보과학과 졸업(석사)
- 2008년 : 전북대학교 대학원 정보보호공학과 졸업(박사)

▪ 1996년 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원(KISTI) 선임연구원, 실장

<관심분야> : Network security, Future Internet, Network Operation, Management