

## 소프트웨어 정의 네트워크 통합 운영 및 관리 프레임워크

김동균\*, 길준민\*\*

### 요약

전통적인 인터넷의 연구과제 중 하나는 연구자가 개방형 네트워크를 이용하여 직접 프로그래머빌리티, 망 가상화, 페더레이션 등의 기술을 기반으로 인터넷을 혁신할 수 있도록 하는 것이다. 흔히 오픈플로우 프로토콜로 대변되는 소프트웨어 정의 네트워크(SDN) 환경은 이러한 개방형 네트워크를 위한 핵심 기술 중 하나로 제안되었고, 기존 인터넷(non-SDN)과 이더넷 계층에서 밀접하게 연결될 수 있다. 따라서 non-SDN과 SDN이 통합된 네트워크 환경이 대두되었고, 네트워크 운영자 입장에서는 전통적 인터넷 인프라와 혁신적 SDN 인프라를 통합하여 안정적으로 운영 및 관리해야 하는 새로운 이슈가 발생하였다. 이런 측면에서 본 논문은 하나의 네트워크 도메인뿐만 아니라 다중 도메인에서 SDN과 non-SDN 인프라의 운영과 관리를 통합적으로 수행할 수 있는 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 분산 가상형 네트워크 운영센터(DvNOC) 환경을 바탕으로 하며, DvNOC 시스템과 SDN 컨트롤러를 상호 연동함으로써 지속 가능한 종단 간(end-to-end) 사용자 기반 네트워크 운영 및 관리를 가능케 하도록 설계되었다. 또한, 제안된 통합운영관리 구조는 SDN 장비, SDN 컨트롤러, 연결 네트워크 등에서 발생할 수 있는 네 가지 주요 장애 시나리오를 지원할 수 있도록 보다 향상된 DvNOC의 기능을 제공한다.

키워드 : 소프트웨어 정의 네트워크, 네트워크 운영 및 관리, 분산가상 네트워크 운영센터

## An Operations and Management Framework for The Integrated Software Defined Network Environment

Dongkyun Kim\* Joon-Min Gil\*\*

### Abstract

An important research challenge about the traditional Internet environment is to enable open networking architecture on which end users are able to innovate the Internet based on the technologies of network programmability, virtualization, and federation. The SDN (Software Defined Network) technology that includes OpenFlow protocol specifications, is suggested as a major driver for the open networking architecture, and is closely coupled with the classical Internet (non-SDN). Therefore, it is very important to keep the integrated SDN and non-SDN network infrastructure reliable from the view point of network operators and engineers. Under this background, this paper proposes an operations and management framework for the combined software defined network environment across not only a single-domain network, but also multi-domain networks. The suggested framework is designed to allow SDN controllers and DvNOC systems to interact with each other to achieve sustainable end-to-end user-oriented SDN and non-SDN integrated network environment. Plus, the proposed scheme is designed to apply enhanced functionalities on DvNOC to support four major network failure scenarios over the combined network infrastructure, mainly derived from SDN controllers, SDN devices, and the connected network paths.

Keywords : SDN, Operations and Management, DvNOC

※ 교신저자(Corresponding Author): Joon-Min Gil  
접수일:2013년 12월 09일, 수정일:2013년 12월 20일  
완료일:2013년 12월 25일  
\* 한국과학기술정보연구원 국가슈퍼컴퓨팅연구소

Tel: +82-42-869-0516, Fax: +82-42-869-0509  
email: mirr@kisti.re.kr

\*\* 대구가톨릭대학교 IT공학부

■ 이 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012R1A1A4A01015777)

## 1. 서론

### 1.1 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN)

초창기 인터넷 구조와 비교할 때[1], 지난 몇 년간 매우 급진적인 새로운 수요가 제기되었다. 이러한 새로운 연구 과제 중 하나는 개방형 네트워킹으로, 신규로 개발된 기술을 실용적인 대규모 실험 네트워크에 적용하고 시험함으로써 사용자가 직접 인터넷을 혁신할 수 있는 기술이다. 흔히 미래인터넷으로도 알려져 있는 인터넷 혁신 기술은 네트워크 성능, 네트워크 안정성, 에너지 효율, 보안 등과 매우 깊이 연관되어 있다. 반면에 전통적인 인터넷은 전적으로 닫힌 구조를 가지고 있으므로, 새로운 사용자 기반의 소프트웨어를 네트워크에 설치하는 것이 불가능하다. 즉, 오직 네트워크 장비를 제조하는 벤더만이 인터넷을 구성하는 장비(예: 라우터, 스위치)에 접근하여 제어할 수 있고, 이용자 혹은 응용은 네트워크를 프로그래밍하거나 재설정할 수 없다.

최근에 이러한 새로운 사용자 요구 사항과 연구 과제를 충족시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중 하나가 소프트웨어 정의 네트워크(SDN)로, 흔히 오픈플로우 프로토콜로 대변되기도 한다. SDN (Software Defined Network)은 기존 인터넷의 구조와 설계를 완전히 다른 측면에서 고려하고 있으며, 두 가지 중요한 특징은 다음과 같다.

1) SDN은 데이터 평면(네트워크 포워딩 하드웨어)로부터 제어 평면을 분리하여 구현한다. 2) 전형적으로 낮은 CPU 성능을 갖는 하드웨어 스위치로부터 제어 평면을 분리하여 높은 성능의 장비(예: 서버 등)로 이동시킨다. 제어평면과 포워딩 하드웨어의 분리는 네트워크의 개방성으로 이어진다. 개방성은 이용자나 응용 대상의 대용량 네트워크 시험과 혁신적 소프트웨어 및 프로그램의 검증이 가능케하고, 새로운 네트워크에 대한 이슈를 해결할 수 있는 단초를 제공한다.

또 다른 SDN의 중요한 특징은 현재의 인터넷 환경(주로 2계층의 로컬 인터넷)에 쉽게 통합될 수 있다는 것이다. 예를 들어, 오픈플로우 장비는 대부분 인터넷 스위치이며, SDN 컨트롤러가 명령하는대로 패킷 포워딩을 하도록 설계되어

있다. 즉 SDN 스위치는 기본적으로 2계층 통신을 위하여 기존의 인터넷 스위치(non-SDN 스위치)와 통합되어 운영될 수 있다. 이러한 SDN과 non-SDN 스위치의 통합 운영 환경 때문에 새로운 인프라의 안정적 운영을 위한 연구가 필요하게 되었다.

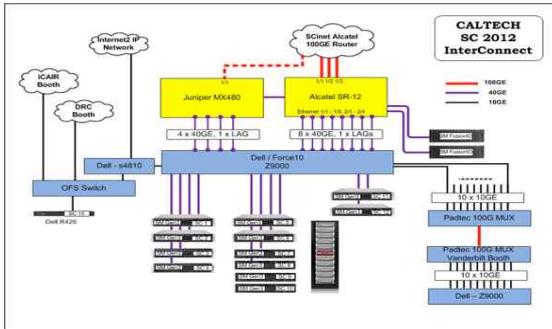
### 1.2 관련 연구

SDN이 근본적으로 로컬 인터넷 환경과 통합될 뿐만 아니라 전통적 인터넷을 통하여 다른 SDN 도메인과 통신하고, 컨트롤러 간 상태 분배를 수행하는 연구가 수행되었다[3]. 이 연구에서는 다중의 SDN 도메인이 기존 인터넷을 통하여 서로 연결하고 상태 정보를 교환해야 하기 때문에, SDN 도메인과 함께 인터넷의 통합적인 안정적 운영이 매우 중요하며, SDN과 non-SDN이 밀접하게 상호 연동 및 운용될 필요가 있다. 그리고, 2계층 네트워크와 SDN을 운영 및 관리를 위해 제안된 관련 연구로 분산 가상 네트워크 운영센터(DvNOC)[4], IEEE 802.1ag 프레임 모니터링[5], 재난 관리 시스템(DM)[6] 등이 있다.

한편, CERN, CalTech 등 저명한 고에너지물리 연구 기관들이 거대입자가속기(LHC)와 같은 첨단과학기술실험장비를 통하여 수십 페타급 이상으로 생성되는 데이터를 전 세계 유관 기관으로 고성능 전송하기 위하여 글로벌한 다중 도메인 네트워크에서 SDN을 적용하고자 노력하고 있다. 예를 들어 CERN은 ViSION [12]과 같은 Openlab 프로젝트를 수행하고 있으며, 주요 연구 분야는 서비스 확장성 향상, 로드 밸런싱, VM (Virtual Machine) 이동성, 데이터 센터간 SDN 기반 통신[13] 등이다. 이외에도, 관련 연구로 네트워크 품질 보증을 위한 테스트베드 모델 설계 연구가 있다[16]. 특히 CERN과 Caltech은 SC12 (Supercomputing Conference 2012) [14]에서 미국의 iCAIR, 네덜란드의 SARA 등과 함께 SDN을 기반으로 하는 플로우 별 다중경로 스위칭 기술을 성공적으로 시연하였다. 이 시연에서는 먼저 (그림 1)과 같이 글로벌한 2계층 메쉬형 SDN 오버레이 네트워크를 구축한 후, 제네바, 암스테르담, 시카고, 그리고 솔트레이크 시티를 10Gbps로 연동하였다. 이러한 고성능 네트워크 상에서, 다중 경로 TCP (MPTCP)를 활용하여

하나의 TCP 데이터 스트림을 다중의 TCP 서브 스트림으로 나눈 후, 소스 시스템에서 목적 시스템까지 설정된 다중 경로 SDN 상에서 데이터를 전송하였다. 이 실험은 새로운 SDN 기능을 기반으로 단일 네트워크 경로의 한계를 뛰어넘어 데이터 전송률을 크게 향상시키는 결과를 보여주었다.

(그림 1) 글로벌 다중 도메인 SDN 실험(SC12)



(Figure 1) Multi-Domain Global SDN Experiments during SC12

(그림 1)의 실험과 같이, 향후 SDN은 현재 인터넷의 비효율성을 극복하여 사용자, 응용, 서비스 등이 요구하는 필수적인 미래 기술로 대두되고 있다. 이와 함께, SDN과 같이 새롭게 등장하고 있는 미래 네트워크 환경을 안정적으로 운영할 수 있는 운용 관리 방법을 개발하는 것이 매우 필요한 상황이다[15]. 이러한 견지에서, 본 논문은 DvNOC [4]을 기반으로 한 효율적인 SDN과 non-SDN의 통합 운영 및 관리 구조를 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 제안된 기술 및 모델은 2장에 기술되며, 3장에서는 제안된 모델의 성능과 향후 고려 사항에 대해서 다룬다. 그리고 4장은 결론과 추가적인 연구 내용을 소개한다.

## 2. DvNOC 프레임워크 기반의 SDN 통합 운영 및 관리 구조

### 2.1 통합 인프라 요구 분석

SDN과 non-SDN 인프라 관리의 근본적 차이점은 다음과 같다. 먼저 SDN 관리는 non-SDN

과 달리 양방향/대화형으로 가능하다. SDN 컨트롤러와 네트워크 장비는 상호 통신하여 다양한 관리 정보(예 : 상태 정보, 망 토폴로지 정보 등)를 교환하거나 분석함으로써, 네트워크 장비 역시 컨트롤러로부터 응용의 상태나 요구 내용을 수집 및 활용할 수 있는 이른바 “슈퍼 액티브(super-active)한 네트워크 관리를 가능케 한다.

그러나, non-SDN 인프라 관리는 일반적으로 단방향이다. 그 이유는 중앙 집중화된 컨트롤러가 없으므로, 하나 이상의 관리 서버가 네트워크 노드에 접근하여 관리 정보를 얻을 수는 있으나, 반대로 네트워크 장비는 해당 서버로부터 정보를 얻을 수 없기 때문이다. 만약 네트워크 장비가 넷플로우(netflow) 프로토콜을 이용한다면, 관리 서버에 접근할 수는 있겠지만 오직 서버가 필요한 정보를 보낼 수 있을 뿐이다. 그러므로, 이 논문에서 제안하는 프레임워크는 근본적으로 볼 때, 어떻게 양방향과 단방향 관리 방법이 상호 통합될 수 있고, 어떻게 안정적인 다중 도메인 SDN 운영과 효율적인 관리를 할 수 있을 것인가에 초점을 맞추고 있다.

본 논문이 효율적인 통합 모델을 제안하기 위하여 채택하고 있는 DvNOC 환경은 최초에 하이브리드 연구망[7]을 위한 가상형 네트워크 관리 프레임워크로 제안되었다. 하이브리드 연구망상의 첨단 응용들은 많은 개별적 네트워크 도메인과 국가를 거치는 협업형 연구이며, 글로벌한 종단간 네트워크 환경을 요구하기 때문에, 서로 다른 네트워크 도메인의 운영센터 간(NOC-to-NOC) 협업이 필수적이다. 이러한 관점에서, DvNOC은 다중 도메인 네트워크 인지, 효율적인 운영센터 간 협업, 사용자 기반의 가상 네트워크 관리 등 세 가지 주요 기능을 지원하며[4], 본 논문에서는 DvNOC의 non-SDN 기반 가상 네트워크 관리와 SDN 관리 기술의 통합을 고려하였다.

앞서 언급한 것처럼, SDN은 로컬 네트워크와 원거리 네트워크에서 모두 효율적으로 non-SDN 인프라와 통합될 수 있는 구조를 가지고 있다. 그리고, SDN과 non-SDN을 동시에 요구하는 여러 서비스와 응용 및 사용자가 있음이 <표 1>과 같이 조사되었다. <표 1>에 따르면, SDN과 non-SDN을 사용할 수 있는 서비스와 응용, 사용자 계층이 결코 다르지 않다. 예를

들면 중단 간 가상 망 서비스, 고성능 데이터 전송, 실험 및 연구 인프라 이용 등이 공통적으로 요구된다. 이러한 관점에서 본다면, SDN과 non-SDN 인프라의 통합된 운영과 관리는 다양한 미래인터넷 수요를 위해 매우 큰 시너지 효과로 이어질 수 있을 것이라 사료된다. DvNOC이 (그림 1)에 명시된 것처럼 기존의 인터넷 관리 시스템이 수행하기 어려운 기능을 지원하고 있다는 측면에서, SDN과 함께 non-SDN을 위한 관리 프레임워크로 기능할 수 있다.

<표 1> SDN과 non-SDN 활용 비교

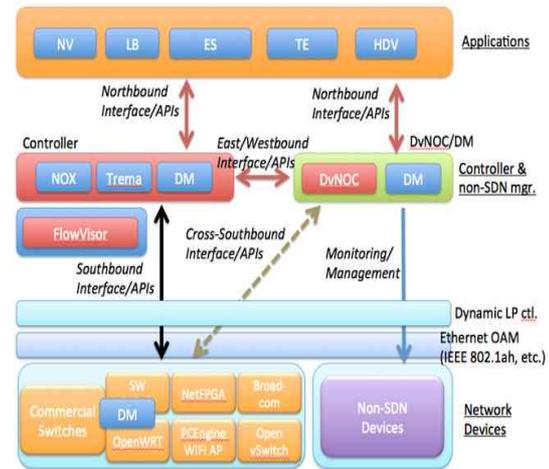
Targets	Services	Applications	Users
SDN	(1)Data Center & Cloud (2)Inter-DC (3)E2E Virtual Network (4)R&E Network Dedication (5)High-end Application Networks (6) Autonomous Network Mgmt. (7)Efficient Green Networking (8)Efficient Home Networking	(1)Network Virtualization (2)Load Balancing (3)High Quality Video (4)High Performance Data Transmission (5) Energy Saving (6) Traffic Engineering	(1)DataCenter & Cloud (2)Green & Home Networking (3)R&E Network Ops. & Mgmt.
non-SDN	(a)Commodity Network (b)E2E Virtual Networks (c)R&E Network Dedication (d)High-end Application Networks (e)Autonomous Network Mgmt.	(a)E-mail, Web, Games (b)Network Virtualization (c)Traffic Engineering (d)High quality Video (e)High Performance Data Transmission	(a)Commodity Internet (b)R&E Network Ops. & Mgmt.
Overlaps	(3)-(b), (4)-(c), (5)-(d), (6)-(e)	(1)-(b),(6)-(c), (3)-(d),(4)-(e)	(3)-(b)

<Table 1> Comparison of Requirements between SDN and non-SDN

2.2 통합 운영 및 관리 프레임워크

제안된 DvNOC 기반의 SDN과 non-SDN의 전반적인 통합 관리 구조가 (그림 2)에 표현되어 있다. 제안된 프레임워크의 주요 요소는 첨단 연구와 실험을 목적으로 하는 두 가지의 네트워크 인프라(SDN과 non-SDN) 및 통합 인프라에 긴밀히 연관된 사용자, 응용, 그리고 서비스이다. 컨트롤러와 DvNOC가 통신하기 위하여 공통으로 구현할 기능 요소는 East-Westbound 인터페이스와 API이고, DvNOC이 추가적으로 구현할 요소는 SDN/오픈플로우 프로토콜의 API이다. 이외에 표준화 대상인 Northbound 인터페이스와 API는 컨트롤러와 DvNOC의 통신과 관계없이 구현해야 하는 요소이므로 공통 구현 기능에서는 제외되며, DvNOC에서 독자적으로 구현할 두 가지 요소는 Cross-Southbound 인터페이스와 API, 그리고 DM (Disaster Manager)[6] 모듈이다. Cross-Southbound 인터페이스는 컨트롤러가 활용하는 Southbound 인터페이스와 동일하며, DvNOC이 같은 인터페이스와 API를 채택함으로써 마치 보조적인 컨트롤러와 같은 역할을 수행함과 동시에 통합된 망 인프라를 보다 안정적으로 운영할 수 있는 구조를 제공한다. 결과적으로 이러한 구조는 단일 장애 포인트(Single Point of Failure) 문제를 해결할 수 있다.

(그림 2) DvNOC 기반의 통합운영관리모델



(Figure 2) The DvNOC-based SDN & non-SDN Operations and Management Model

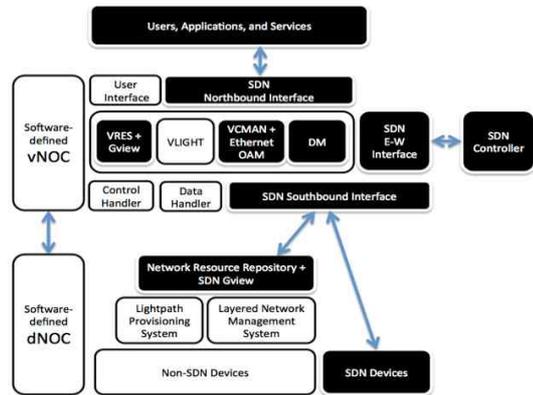
DvNOC이 포함할 중요한 구성 요소인 DM은 SDN 하드웨어와 교신하여 장애 관리를 수행한

다. 그리고 제안된 구조는 SDN과 non-SDN의 공통적 인프라인 이더넷 계층의 정밀한 관리를 위하여 IEEE 802.1ag 표준에 따른 오픈플로우 기반 CCM (Continuity Check Message) 교환과 동적 서킷 제어 시스템을 지원한다. 이더넷 OAM (Operations and Management) 계층과 다이나믹한 회선 제어 기능의 지원은 사용자들보다 용이하게 중단 간 가상 네트워크, 첨단 어플리케이션 네트워크, 사용자 전용 QoS 보장 네트워크 등의 적용과 활용을 가능케 한다.

DvNOC은 글로벌 다중 도메인 네트워킹 환경 상에서 효율적인 망 운영센터 간 협업과 사용자 기반의 중단 간 가상 네트워크 관리를 수행할 수 있도록 두 가지 핵심 요소인 dNOC (distributed NOC)과 vNOC (virtual NOC)으로 구성되어 있다. 그리고 이 두 가지 요소 모두 소프트웨어를 기반으로 하고 있다. DvNOC은 기본적으로 non-SDN 인프라의 관리를 목적으로 하고 있으나 SDN 기능을 원활히 포함할 수 있는 구조를 가지고 있는 것도 바로 이러한 이유 때문이다. (그림 3)에 dNOC과 vNOC 시스템 별로 보다 상세화된 기능 요소를 포함한 확장된 프레임워크가 제안되어 있다. DvNOC은 SDN 인터페이스와 새로운 OAM 기능[5][6][9]을 장착하여 전반적인 통합 기능의 향상을 이끌어 내었다. 이런 방식으로 제안된 프레임워크는 OAM에 특성화된 보조 SDN 컨트롤러의 역할을 수행할 수 있으며, 특히 다음과 같은 네 가지의 장애 시나리오에 대응함으로써 SDN/non-SDN 통합 인프라의 운영관리 안정성을 향상시킨다. 본 논문에서 제안하는 방법은 대표적 글로벌 네트워크 테스트베드인 SATW (Slice Around the World) [10]와 K-GENI 이니셔티브 [11]에 활용될 수 있으며, 현재 이를 위한 방안이 활발히 논의되고 있기도 하다.

- 1) SDN 컨트롤러의 장애로 인한 첫다운 상황
- 2) SDN 컨트롤러와 SDN 장비의 동시 장애로 인한 첫다운 상황
- 3) SDN 컨트롤러는 동작하나 SDN 장비가 장애로 첫다운된 상황
- 4) SDN 컨트롤러는 동작하나 SDN 장비로 연결된 링크가 다운된 상황

(그림 3) 상세화된 소프트웨어 기반의 통합 운영 관리 프레임워크



(Figure 3) A Framework of Software Defined Network Operations Center

다음의 <표 2>에서는 (그림 3)에 소개된 프레임워크와 SDN/non-SDN 통합 인프라를 바탕으로 어떻게 언급된 네 가지 장애 시나리오에 대처할 수 있을지에 대하여 분석하였다.

<표 2> 장애 시나리오 및 대응 기능

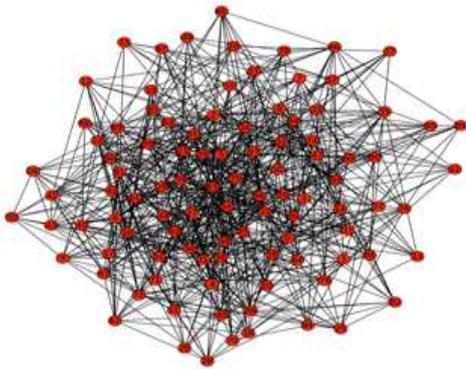
Scenario	Functionalities
Controller Down, Device Alive	<ul style="list-style-type: none"> <li>· DvNOC detects controller down using SDN E-W interface.</li> <li>· DvNOC communicates with SDN devices using SDN southbound interface.</li> </ul>
Controller & Device Down	<ul style="list-style-type: none"> <li>· DvNOC detects controller(s) down using SDN E-W interface.</li> <li>· DvNOC detects SDN device down using SDN southbound interface.</li> <li>· DvNOC communicates with live SDN devices, and updates NRR (Network Resource Repository) with new GView (global network view) information.</li> </ul>
Controller Alive, Device Down	<ul style="list-style-type: none"> <li>· DvNOC detects SDN device(s) down using SDN E-W interface.</li> <li>· DvNOC updates NRR with new Gview information.</li> </ul>
Controller Alive, Link Down	<ul style="list-style-type: none"> <li>· DvNOC detects link down using layered network management system.</li> <li>· DvNOC updates NRR and delivers the updates to controller(s) using SDN E-W interface.</li> </ul>

<Table 2> The Description of New Functionalities for Each Emergency Scenario

### 3. 통합 프레임워크의 성능 고려사항

본 논문에서 제안한 방법은 주로 다중 도메인의 SDN 관리 프레임워크로 설계된 DvNOC과 SDN 컨트롤러의 통신 및 상호 작용에 대한 것이다. 이러한 상호 연동을 바탕으로 사용자 중심 미래 인터넷 환경의 안정적 운영과 관리가 가능해진다. 통합된 SDN과 non-SDN의 안정적 운영 관리와 함께, 주요 성능 이슈로는 다중 도메인의 SDN 상에서 망 간의 연동에 따른 페더레이션 프로세스의 오버헤드를 줄이는 것이다.

(그림 4) Erdos\_Renyi 네트워크 모델 생성



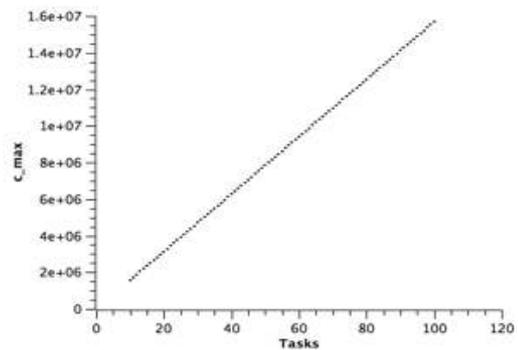
(Figure 4) Generated Erdos\_Renyi Network Model

(그림 4)와 (그림 5)는 각 네트워크의 노드에서 발생하는 페더레이션 작업에 따른 전반적인 페더레이션 오버헤드( $C_{max}$ )를 분석한 내용을 다룬다. (그림 4)는 NetworkX 코어 라이브러리[8]를 기반으로 생성한 *Erdos\_Renyi* 네트워크 모델로, 각 노드는 가상 네트워크 노드로 정의하였다. 그리고, (그림 5)의  $C_{max}$  값은 (그림 4)의 네트워크에 속한 가상 노드에서 주어진 시간(초) 내에 실행을 마친 페더레이션 작업의 수( $t$ )와 평균 데이터 전송 지연 (*ADDC*, Average Data Transfer Delay Convergence from each node to a federated DvNOC system)을 계산한 결과이다. (그림 5)에 따르면, 각 노드가 수행하는 페더레이션 작업량에 따라 정의된  $C_{max}$  값이 증가

한다. 즉, 다중 도메인 SDN/non-SDN 망 간의 연동 및 페더레이션에 따른 오버헤드가 네트워크를 구성하는 각 (가상) 노드의 페더레이션 작업량에 비례하며, 이에 따라 통합 프레임워크의 전체 성능에 많은 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

통합 프레임워크의 성능을 위하여 추가적으로 고려할 사항은 다음과 같다. 첫 번째 고려 사항은 DvNOC과 SDN 컨트롤러의 통신을 위한 E-W 인터페이스에 관한 것이다. SDN과 non-SDN의 성능은 손상되었거나 정상이 아닌 Gview (Global View) 정보에 큰 영향을 받는다. 그 이유는 잘못된 Gview 정보가 네트워크 경로의 루핑(looping), 트래픽 엔지니어링의 비 최적화, 그리고 어플리케이션의 오동작을 일으키기 때문이다. Gview의 동기화와 통신에 따른 오버헤드가 크면 클수록, SDN/non-SDN 노드의 페더레이션 프로세싱 부담이 증가하게 된다.

(그림 5) 페더레이션 작업(task)의 수와 오버헤드( $C_{max}$ ) 증감 비교



(Figure 5) Cmax Minimizing with # of Tasks

두 번째 성능 고려 사항은 DvNOC과 SDN 장비 사이의 통신을 담당하는 Cross-Southbound 인터페이스에 대한 것이다. 통합 망 인프라의 성능은 자주 장애를 발생시키는 SDN 장비와 이를 연결하는 링크의 수에 영향을 받기 쉽고, DvNOC의 NRR(표 2)에 저장되는 네트워크 상태 정보가 불안정해지는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 결과는 추가적인 상태 정보 교환으로 이어지며, 별도의 오버헤드를 고려할 때 전반적인 성능이 낮아지게 된다. 따라서

Cross-Southbound 인터페이스를 통한 상태 정보(up/down)의 치밀한 모니터링과 이에 따른 전향적인 대처 방안이 요구된다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 내용

소프트웨어 기반의 네트워크인 SDN과 기존 인터넷 환경 기반의 non-SDN은 통합 운영 및 관리됨으로써 다양한 미래 사용자 요구를 만족시키는 시너지 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 SDN/non-SDN 인프라의 통합 운영 및 관리 프레임워크를 제안했으며, 제안된 방법은 주로 SDN 컨트롤러와 DvNOC 시스템의 상호 작용과 운용에 대해서 다루었다. 이러한 연구 결과를 토대로 향후 연구 내용은 제안된 프레임워크의 성능 고려사항, 전반적인 인터페이스의 오버헤드 등을 고려한 프로토타입의 개발과 구현을 포함하고 있다.

#### References

- [1] David D. Clark, "The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols," Proceeding(s) of SIGCOMM '88, Computer Communication Review Vol. 18, No. 4, pp. 106-114, 1988.
- [2] N. McKeown et al., "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 38, No. 2, pp. 69-74, April 2008.
- [3] Dan Levin et al., "Logically Centralized? State Distribution Trade-offs in Software Defined Networks," First Workshop on Hot topics in Software Defined Networks, pp. 1-6, 2012.
- [4] Dongkyun Kim, "User Oriented virtual Network Management Based on dvNOC Environment," International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), Vol. 8, pp. 59-65, 2008.
- [5] Ronald van der Pol, "Ethernet OAM Integration in OpenFlow," NORDUnet Conference, 2012.
- [6] Sejun Song et al., "NEOD: Network embedded on-line disaster management framework for software defined networking," Proceeding of 2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, pp. 492-498, May 2013.
- [7] Jeroen van der Ham et al., "A Distributed Topology Information System for Optical Networks Based on the Semantic Web," Optical Switching and Networking. Vol. 5, No. 2/3, pp. 85-93, 2008.
- [8] A. Hagberg et al., "Exploring Network Structure, Dynamics, and Function using NetworkX," Proceeding of the 7th Python in Science Conference, pp. 11-15, 2008.
- [9] IEEE 802.1ag Standard, URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1ag-2007.pdf>.
- [10] SATW (Slice Around the World) Initiative, URL: <http://groups.geni.net/geni/ticket/913>.
- [11] K-GENI (Korea's testbed connection to Global Environment Network Innovation), URL: <http://groups.geni.net/geni/wiki/K-GENI>.
- [12] ViSION Project, <http://openlab.web.cern.ch/publications/presentations/vision-project>.
- [13] OpenLab Project, URL: <http://bit.ly/15Q8aNJ>
- [14] Caltech SC12 demonstrations: <http://supercomputing.caltech.edu/showfloor.html>.
- [15] Dongkyun Kim et al., "FNOM: Federated Network Operations and Management on Future Internet," Advances in Information Sciences and Service Sciences (AISS), Vol. 3, No. 7, pp. 130-140, 2011.
- [16] Ji Moon Chung, "A Designing Method of Network Quality Assurance Test Bed Design under Next-generation Network Environment," Journal of Digital Contents Society, Vol. 13, No. 4, pp. 625-629, Dec. 2012.



### 김 동 균

1999년 : 충남대학교 대학원 (이학 석사)

2005년 : 충남대학교 대학원 (이학 박사-오버레이 멀티캐스팅)

2006년~2007년: 미국 테네시대학교(UT)/오크리지 국립연구소(ORNL) 초청연구원

2000년~현재 : 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원

관심분야 : 미래인터넷, 첨단연구망, 소프트웨어 정의 네트워킹(SDN) 및 인프라(SDI) 등



### 길 준 민

1996년 : 고려대학교 대학원 (이학 석사)

2000년 : 고려대학교 대학원 (이학 박사-분산컴퓨팅)

1998년~2001년: 고려대학교 기초과학연구소 전문연구원

2001년~2002년: 일리노이대학교(시카고), Post-Doc.

2002년~2006년: KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 선임연구원

2006년~현재 : 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수

관심분야 : 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 그리드 컴퓨팅(Grid Computing), 결함포용 시스템(Fault-Tolerant System) 등