

# 소프트웨어 정의 네트워크 기반 분산 제어부에 대한 가용성 측정 체계 및 지표

이승현, 윤창훈, 이승수, 신승원

한국과학기술원, 전산학부, 정보보호대학원

Evaluating Availability of Distributed Network Operating System

Seung-hyeon Lee, Chang-hoon Yoon, Seung-soo Lee, Seung-won Shin

GSIS, SoC, KAIST

## 요약

소프트웨어 정의 네트워크 (SDN) 기술의 빠른 발전과 더불어 SDN의 제어 계층에 해당하는 네트워크 운영체제 또한 급속도로 진화하고 있다. 최근에는 SDN 네트워크의 고신뢰성 및 고가용성을 보장할 수 있는 분산 네트워크 운영체제가 제안되었으며 관련 분야의 연구가 활발히 진행되어, 다양한 분산 네트워크 운영체제들이 구현되었다. 분산 네트워크 운영체제가 보장할 수 있는 네트워크 가용성은 실제 네트워크에 적용되었을 때 발생 가능한 네트워크 장애 및 공격 상황을 포함하는 등 매우 중요한 성능의 척도이기 때문에, 이들이 보장할 수 있는 가용성의 검증은 매우 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 분산 네트워크 운영체제가 보장할 수 있는 가용성에 대한 체계적이고 실용적인 검증 방법 및 평가 지표를 제안한다.

## I. 서론

소프트웨어 정의 네트워크 (SDN)는 프로그래밍이 가능한 네트워크 환경을 제공 해 주기 때문에, 비즈니스 영역의 요구에 맞게 동적으로 네트워크를 바꿀 수 있다. 많은 네트워크 회사 및 통신사들이 SDN의 효용성을 인지하고 기존 네트워크를 SDN기반의 네트워크로 변경하고 있다. SDN을 구성하는 많은 항목 중 제어부는 네트워크의 신뢰성 및 안정성을 관장하는 중요한 요소가 되었지만, 상대적으로 제어부의 안정성을 평가하는 연구는 활발히 진행되지 않았다. 비즈니스 애플리케이션이 적절하지 않은 네트워크 롤을 내렸을 때 검사를 하는 연구들[1,4]이 있지만 제어부 자체의 가용성 및 안정성을 테스트하는 연구는 전무하다. 특히나 가용성을 보장하기 위해 제안된 분산 환경에서의 네트워크 운영체제 환경에서의 연구는 진행되지 않고 있다. 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 고 신뢰 SDN 네트워크 환경을 제공하기 위하여, 분

산 네트워크 운영체제의 가용성 측정 체계 및 지표를 제안한다.

## II. 고 신뢰 소프트웨어 정의 네트워크를 위한 분산 네트워크 운영체제

소프트웨어 정의 네트워크 (SDN)의 기본 구조는 데이터부, 제어부, 그리고 애플리케이션부로 이루어져 있다, 각 항목 중 가장 중요한 역할을 하는 제어부는 전체네트워크를 관장하고 비즈니스 애플리케이션의 운영의 기반이 된다. SDN 기반의 네트워크에서 제어부는 인간의 뇌와 비슷하며, 제어부가 마비되면 전체 네트워크가 마비되는 문제가 발생한다. ISP 등 중요 영역에서는 고 신뢰성 확보가 매우 중요하기 때문에, 제어부에 대한 가용성 및 안정성을 위하여 분산 운영체제가 제안되었다. 현재 널리 쓰이는 분산 운영체제는 ONOS [2]와 OpenDayLight [3]이 있다. 분산 운영체제는 다

중 인스턴스로 구성되어 있고, 다양한 네트워크 정보를 공유하고 각 인스턴스간의 협업을 통하여 네트워크를 관리한다.

### III. 분산 네트워크 운영체제의 가용성 측정 체계 및 지표의 필요성

SDN 네트워크 환경에서 동작하는 네트워크 운영체제는 네트워크 전체를 관리하는 두뇌역할을 하고 있다. SDN 기반의 네트워크를 보다 효율적이고 안정적으로 관리하기 위해 분산 네트워크 운영체제가 도입되었다. 하지만 실제 발생 가능한 네트워크 장애 상황에서 분산 네트워크 운영체제들이 장애를 극복하고, 실제 발생 가능한 네트워크 장애 상황에서 분산 네트워크 운영체제들이 가용성을 보장할 수 있는지에 대한 측정 및 평가 기준이 존재하지 않는다. 오픈소스 기반의 분산네트워크인 Open Network Operating System (이하 ONOS)에서 분산 환경에서의 테스트 항목을 제공하고 있지만, 단순한 기능 평가에 그치고 있다.

SDN 기반의 네트워크 운영은 네트워크 관리자에게 많은 이점을 가져다준다. 하지만 장애 상황 극복 및 장애로 인한 문제 해결에 대한 검증이 없다면, 실제 중요한 네트워크 (Mission critical infrastructure)에서 분산 네트워크 운영체제를 도입하는 것은 매우 위험하다. 따라서, 본 연구에서는 분산 네트워크 운영체제에서 발생 할 수 있는 다양한 장애상황들을 정리하고, 이를 기반으로 체계적인 장애극복 및 가용성 측정 체계 및 지표를 제안한다.

### IV. 분산 네트워크 운영체제의 가용성 측정 체계 및 지표

본 절에서는 분산 네트워크 운영체제에서의 장애를 정의하고, 장애를 기반으로 구체적인 장애극복 및 가용성 측정에 대한 체계를 제안한다.

#### 1.1 분산 환경에서의 장애 유형

분산 네트워크 운영체제의 기본적인 동작은 분산 네트워크 인스턴스의 협업으로 이루어진

다. 분산 네트워크 인스턴스에 발생 할 수 있는 기본적인 장애 종류는 크게 3가지로 분류 할 수 있다. 첫 번째로 스위치와 인스턴스 사이의 링크 (Control channel)의 장애로서, 논리적 및 물리적으로 링크가 끊어지는 것을 의미한다. 두 번째로는 인스턴스의 종료로서, 다양한 상황에서 인스턴스가 종료되는 것을 의미한다. 끝으로 기반 운영체제의 종료가 있다. 기반 운영체제는 인스턴스가 동작 할 수 있는 기본적인 바탕이 되는 운영체제로서, 운영체제의 장애가 인스턴스의 장애로 직결된다.

#### 1.2 가용성 측정 체계

분산 네트워크 운영체제의 장애복구 및 가용성을 측정은 총 3가지의 대 부류와 7가지의 소 부류로 구성되어 있다. 표 1은 전체 테스트 케이스에 대한 요약을 보여준다.

네트워크 링크는 스위치와 인스턴스 사이의 제어채널이 논리적 및 물리적으로 문제가 생겼을 때 운영체제가 어떻게 처리하는지 평가를 하는 항목이다. 물리 링크는 강제로 링크를 뽑음으로서 테스트 할 수 있고, 논리 링크 삭제는 스위치에서 논리적인 제어부 연결을 끊음으로서 측정 할 수 있다. 물리적인 장애와 논리적인 장애는 다른 결과를 불러일으킬 수 있으므로 소 부류에는 두 가지 유형의 장애가 있다.

Fault	Element
D-1. Network link	D-1-1. Physical link
	D-1-2. Logical link
D-2. Expected instance shutdown	D-2-1. Single instance
	D-2-2. Multi instance
D-3. Unexpected instance shutdown	D-3-1. Halt
	D-3-2. Halt OS
	D-3-2. Halt OS by power down

표 1 테스트 케이스

인스턴스 종료는 분산 네트워크 운영체제를 구성하는 다중 인스턴스들 중 단일 및 복수 인스턴스에 장애가 발생하였을 때 장애 복구 및 가용성을 보장하는지 여부를 측정하는 테스트

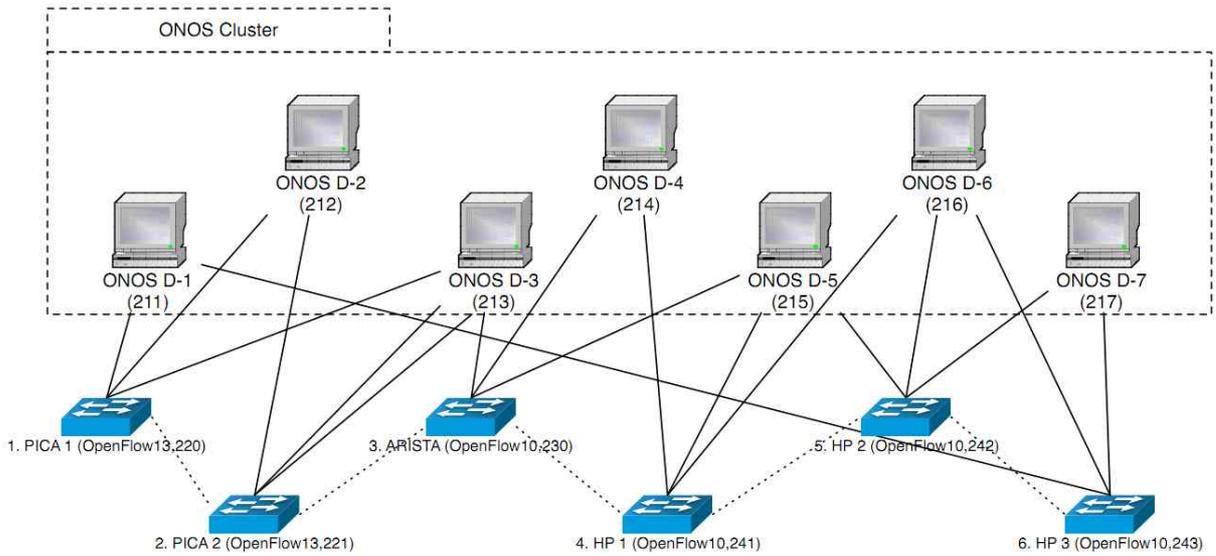


그림 1 테스트 환경

이다. 테스트 방법으로는 인스턴스가 동작하는 프로세스 자체를 종료시킴으로서, 측정 할 수 있다. 분산 환경에서는 단일 인스턴스 및 복수 인스턴스에 따라 달라질 수 있기 때문에 소 항목으로 단일 인스턴스 및 복수 인스턴스 항목이 있다.

인스턴스의 비정상 종료는 예기치 못한 장애로 네트워크 운영체제가 종료되는 것을 의미한다. 비정상 종료는 인스턴스를 구성하는 다양한 리소스를 파괴하는 것으로서, 인스턴스의 특정 파일을 삭제함으로써 테스트 할 수 있다. 운영체제의 종료는 인스턴스가 동작하고 있는 운영체제 자체에 장애가 생긴 경우로서, 운영체제를 정상적인 방법으로 종료시키는 것을 의미한다. 운영체제 자체에 장애가 생기는 또 다른 유형으로서 운영체제의 전원을 차단하는 방법으로 강제종료에 대한 테스트를 진행 할 수 있다.

### 1.3 가용성 측정 지표

테스트 항목의 성공 여부는 “통과” 및 “실패”로 구성되어 있다. 각 항목에 대한 “통과” 기준은 표 2와 같고, 이 외의 경우에는 “실패”로 분류된다.

Criteria	Condition
Common	Fault recognition (Affected instance)
	Fault recognition (Collaborators)
D-1	Fault handling
	Notification
D-2	Failover or Failback
	Restoration
D-3	Failover or Failback
	Restoration

표 2 통과 기준

No	Result	ETC
D-1-1	Pass	-
D-1-2	Fail	Exception error
D-2-1	Pass	-
D-2-2	Pass	-
D-3-1	Pass	Long recovery time
D-3-2	Fail	Role swapping error
D-3-3	Fail	Role swapping error

표 3 분산 컨트롤러 평가 결과

## V. 평가

가용성 측정에 대한 평가를 하기 위하여, 분산 네트워크 운영체제 중 하나인 ONOS를 기반으로 테스트를 진행을 하였다. 그림 1과 같이 총 7개의 인스턴스와 8개의 물리스위치를 연결

하여 테스트를 진행하였다. ONOS는 분산컨트롤러이기 때문에, 어느 인스턴스에 접속을 해도 같은 상태를 반영한다. 물론 동기화에 대한 딜레이와 기타 다른 문제가 생길 수 있지만, 본 연구에서는 논외로 한다.

표 3은 분산컨트롤러 평가에 대한 결과를 보여준다. 총 7개의 평가 항목 중 4가지 항목에 대해 통과를 하였다. 결과를 분석해 보면 D-1-2의 실패 원인은 프로그래밍 에러 또는 예외처리에서 문제가 있었다. 나머지 D-3에 관련된 테스트 항목 실패 이유는 분산컨트롤러에서 중요한 요소로 작용하는 역할 정의 문제 (Consensus problem)을 제대로 처리하지 못해 발생하였다.

## VI. 결론

본 연구에서는 분산 네트워크 환경에서의 고신뢰성 및 가용성을 측정하기 위한 체계 및 지표를 제안하였고, 실제 널리 쓰이는 ONOS에 대한 평가를 진행하였다. 본 연구를 기반으로 분산 네트워크 운영체제의 잠재적인 문제점을 도출해 내고, 이를 해결하기 위한 연구의 초석이 되었으면 한다.

## [참고문헌]

- [1] PORRAS, Philip, et al. A security enforcement kernel for OpenFlow networks. In: Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks. ACM, 2012. p. 121-126.
- [2] Berde, Pankaj, Matteo Gerola, Jonathan Hart, Yuta Higuchi, Masayoshi Kobayashi, Toshio Koide, Bob Lantz et al. "ONOS: towards an open, distributed SDN OS." In Proceedings of the third workshop on Hot topics in software defined networking, pp. 1-6. ACM, 2014.
- [3] LINUX FOUNDATION, OPENDAYLIGHT, <https://www.opendaylight.org/>.
- [4] KHURSHID, Ahmed, et al. Veriflow:

verifying network-wide invariants in real time. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2012, 42.4: 467-472.