

SDN 기반의 EIGRP 라우팅 프로토콜 설계 및 구현

최영준[†], 권태욱^{**}

Design and Implementation of The EIGRP based on the SDN

Youngjun Choi[†], Taewook Kwon^{**}

ABSTRACT

Recently, due to the rapid growth of the internet the existing network architecture is showing limitations. In order to overcome these problems SDN has been proposed as a new paradigm. EIGRP is a modern routing protocol with many advantages but little research has been done on operation in SDN. In this paper we propose a controller-centric EIGRP based on the SDN environment. To construct the SDN network, We separate the control function and the data transfer function and the EIGRP is operated by a separated controller. Experiments have shown that the proposed scheme can actually work and be used effectively.

Key words: SDN, EIGRP, Routing Protocol, SDN Routing, OMNeT++

1. 서 론

현재의 네트워크 체계에서는 하나의 네트워크 장비가 데이터 패킷의 처리 및 네트워크를 제어하는 통합 하드웨어 형태로 제공되고 있다. 또한 각각의 벤더들의 네트워크 장비 별로 구조 및 동작방식의 차이점이 명확하여 서로 다른 성질의 네트워크 장비를 혼합하여 사용하지 못하는 특성이 있다. 따라서 사용자는 특정 네트워크 벤더 위주의 장비를 사용해야 하였고, 선택권은 제한되었다. 이러한 폐쇄적인 벤더 중심적인 환경적 특성으로 인해 사용자는 사용을 원하는 최소 필요기능을 지원하는 저렴한 네트워크 장비를 구매하고자 하여도, 네트워크 벤더들은 다수의 기능들을 통합시킨 고가의 장비만을 제공하기 때문에 사용자 입장에서 불필요한 비용의 증가가 불가피하였고, 결과적으로 네트워크 시장은 다수의 사용자가 아닌 소수의 네트워크 벤더가 주도하는 기

형적인 형태로 발전이 이루어지게 되었다.

소프트웨어 정의 네트워크(software defined networking, SDN)은 이러한 네트워크 시장의 문제점을 해결하기 위한 새로운 패러다임으로 제안되었다. 하지만 SDN의 아직은 초기의 기술로써 SDN의 상용화를 위한 연구들이 필요한데 SDN에서도 네트워크의 기본적인 목적은 변화하지 않기 때문에 데이터를 빠르고 정확하게 전달하기 위한 경로를 찾는 라우팅 프로토콜의 역할 또한 변함없이 중요할 것이다. 현재까지의 SDN에서의 라우팅 프로토콜과 관련된 연구는 주로 OSPF와 관련된 연구가 진행되었다. 그러나 A. Bansall의 연구[1]를 비롯한 많은 연구결과들에서 성능적인 우수함이 증명된 EIGRP(Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)는 CISCO의 사설 라우팅 프로토콜이라는 특성으로 인해 상대적으로 그 연구가 부족하다. H. Hasan에 의해 SDN에서의 EIGRP [2, 3]와 관련된 연구가 진행되었으나 접근 방법에서

※ Corresponding Author : Youngjun Choi, Address: (17022) 103, Dormitory, 122, Everland-ro, Pogok-eup, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea, TEL : +82-41-831-5323, FAX : +82-2-748-7588, E-mail : kiram21@naver.com

Receipt date : Nov. 29, 2017, Revision date : Dec. 19, 2018
Approval date : Jan. 19, 2019

[†] Dept. of Computer Science & Eng., Korea National Defense University

^{**} Dept. of Computer Science & Eng., Korea National Defense University
(E-mail : Kwontw9042@naver.com)

라우터가 라우팅을 수행하고 컨트롤러가 일종의 관찰자로서 네트워크 관리를 지원하는 하이브리드 형태에서의 운용과 관련된 연구였다. 그러나 Hasan이 제안한 형태에서는 라우팅을 수행하는 주체는 라우터이며 하드웨어에 제어기능을 포함시킴으로써 SDN의 최적의 성능발휘에 다소 제한이 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 SDN 기반 환경에서 제어평면과 데이터 전송평면을 분리하여 EIGRP 라우팅 프로토콜을 운용함으로써 SDN의 최적의 성능 발휘를 위한 형태를 제안한다. 이를 위해 EIGRP 라우팅을 컨트롤러에서 수행하도록 하며, 스위치는 플로우 테이블을 통해 컨트롤러의 통제에 따라서 단순히 포워딩을 방식을 설계하고, 환경적 제한사항으로 인해 실제 시스템이 아닌 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 구현하고 실험함으로써 제안하는 방법이 운용 가능함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 기본 이론이 되는 SDN과 EIGRP에 대해서 정의한 다음, 3장에서 제안하는 Controller 중심의 SDN 기반의 EIGRP를 설명한다. 여기에서 Hasan이 제안한 방식의 분석을 통해 문제점을 확인하고 Controller 중심의 EIGRP를 위한 컨트롤러와 스위치의 구성 환경을 서술한다. 4장에서는 제안한 SDN 기반의 EIGRP의 구현 및 실험을 통해 제안하는 방식이 운용 가능함을 확인하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 소프트웨어 정의 네트워크

ONF에서는 SDN을 ‘네트워크의 제어평면(control plane)과 중앙 집중화된 컨트롤러가 여러 대의 전송 장비를 통제하는 데이터 전송평면(data plane)에 대한 물리적인 분할’로 정의[4]하고 있다. SDN의 구조는 기존 네트워크 체계에서 담당하는 각각의 기능을 가상화된 3개 계층으로 구분하는데 ONF에서 제시한 SDN의 기본 구조는 Fig. 1과 같이 데이터 전송계층(infrastructure layer), 제어계층(control layer), 응용계층(application Layer)의 3개 계층구조로 표현이 된다. 데이터 전송계층은 하드웨어 장치들로 구성되어 실질적인 데이터의 전달 기능을 담당하게 된다. 컨트롤 계층은 기존의 하드웨어에 포함되어

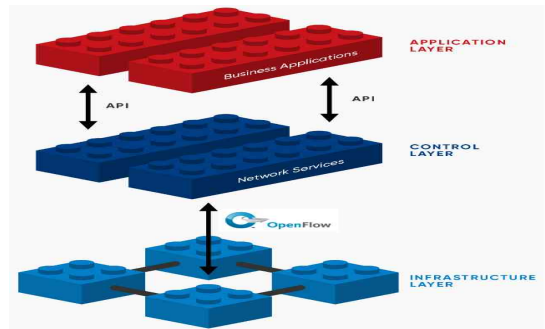


Fig. 1. The SDN architecture.

함께 운영하던 것을 분리한 것으로서 데이터 전달과 관련하여 Global View를 통해 데이터의 흐름과 네트워크의 동작을 조정하고 통제하는 역할을 수행하는 일종의 네트워크 OS이다. 응용 계층은 그 상위 계층으로서 컨트롤러와 상호작용하며 컨트롤러를 운용하기 위한 응용프로그램이다.

응용계층과 컨트롤 계층을 연결하는 Northbound Interface와 제어계층과 데이터 전송계층을 연결하는 Southbound Interface가 있으며, 대표적인 예로 OpenFlow가 있다. 이러한 인터페이스를 통해 각각의 계층들은 상호작용한다.

또한 SDN 구조에는 직접 프로그래밍(directly programmable), 기민성(agile), 중앙 집중식 관리(centrally managed), 프로그래밍 방식으로 구성(programmatically configured), 개방형 표준 기반 및 벤더 중립성(open standards-based and vendor-neutral)등의 핵심 개념 요소들을 포함하여야 한다. 이를 통해서 네트워크 제어가 전달 기능과 분리되어 있기 때문에 직접 프로그래밍 가능하며, 관리자의 요구를 충족시키기 위해 네트워크 전체의 트래픽 흐름을 동적으로 조정할 수 있다. 또한 네트워크 요소들은 Global view를 유지하는 소프트웨어 기반 SDN 컨트롤러에 (논리적으로) 중앙 집중화된다. 그리고 동적인 자동 SDN 프로그램을 통해 네트워크 리소스를 매우 신속하게 구성, 관리, 보안강화 및 최적화할 수 있는데, [5]에서는 SDN의 구조적 이점을 통해서 DDOS 공격을 보다 효과적으로 방어 가능함을 제시하였다. 또한 SDN은 공개 표준을 통해 구현함으로써 여러 벤더의 특정 장치 및 프로토콜 대신 SDN 컨트롤러가 제공하는 지침에 따라 네트워크 설계 및 운영을 간소화하는 것이 가능해진다.

2.2 EIGRP

EIGRP는 CISCO 장비 전용의 사설 라우팅 프로토콜[6, 7, 8, 9]이다. 기본적으로는 거리벡터 기반의 프로토콜이지만 경로 계산 시 홉수 외에 5 가지 요소를 고려하여 하이브리드 형태이다. (1)은 EIGRP의 기본 경로 계산 공식이다. 여기에서 $K_1 \sim K_5$ 는 상수로서 $K_1=K_3=1, K_2=K_4=K_5=0$ 을 default 값으로 갖는다. 경로 계산을 위한 메트릭 값의 경우 대역폭(Bandwidth, kb/s 단위로 측정), 지연(Delay, 10에 마이크로초 단위로 측정), 신뢰성(Reliability, 1~255까지의 분포를 가지며 255가 가장 신뢰도가 높다), 부하(Load, 1~255까지의 분포를 가지며 255가 부하가 가장 높다), 최대 전송 유닛(MTU)을 사용하여 경로를 계산한다.

$$\left[(K_1 \cdot \frac{K_2 \cdot Bandwidth}{Bandwidth + 256 - Load} + K_3 \cdot \nabla ay) \frac{K_5}{K_4 + Reliability} \right] \cdot 256 \quad (1)$$

DUAL 알고리즘에서는 FD(feasible Distance)와 AD(Advertised Distance) 값을 사용하는데 FD는 출발지(최초 경로 요청을 받은 라우터)로부터 목적지 네트워크까지 계산한 EIGRP 메트릭 값을 말하며, AD는 출발지의 다음 홉 라우터로부터 목적지 네트워크까지 계산한 EIGRP 메트릭 값을 뜻한다. DUAL 알고리즘은 이렇게 계산된 FD와 AD를 바탕으로 목적지 네트워크까지 FD값이 최소인 경로를 successor로 선정하며, FD와 AD를 비교하여 $AD < FD$ 라는 조건을 만족하는 경우에 feasible successor로 선정되어진다.

EIGRP가 운용되기 위해서는 다음과 같은 기본 테이블들이 필요하다:

- 네이버 테이블: 라우터가 직접 연결된 인접한 라우터들의 주소를 기록하고 있는 테이블이다. 새로운 라우터를 발견하게 되면 그 주소를 네이버 테이블 엔트리에 기록한다. 네이버 테이블은 대기시간 이내에 헬로 패킷이 수신되는 동안에는 지속적으로 유지되고 만약에 받지 못한 경우는 이웃 관계는 해제되고 목록에서 삭제한다.
- 토폴로지 테이블: EIGRP는 라우터 간의 정보 교환을 통해서 확인된 전체 네트워크에 대한 토폴로지 테이블을 만들어서 유지한다. 각각의 엔트리에선 목적지에 대한 주소와 경로정보를 제공한 이웃들의 정보를 포함하고 제공된 메트릭은 이웃의 라우팅 테

이블에 저장되어진다.

- 라우팅 테이블: EIGRP 라우터는 토폴로지 테이블을 기초로 하여서 목적지에 대한 최적 경로를 계산하고 라우팅 테이블을 생성하여 유지한다.

또한 EIGRP 프로토콜에서 테이블을 구성하고 필요한 명령을 처리하기 위해 다음과 같은 패킷들이 사용되어진다:

- 헬로 패킷: 직접 연결되어 있는 인접한 이웃 라우터들 간에 주고받는 메시지로 이웃관계를 형성한다. 이웃을 발견하거나 삭제된 이웃관계를 복원하기 위해서 멀티캐스트 방식으로 전파되어지며, 서로 간에 헬로 패킷을 받기 때문에 확인 패킷을 필요로 하지 않는다. 헬로 패킷은 주기적으로 전송되어지는데 기본적으로 대기시간의 3배에 해당하는 대기시간 내에 헬로 패킷을 인접 라우터로부터 받지 못한다면 라우터들 간에 연결되었던 이웃 관계는 해제된다.

- 업데이트 패킷: 라우터들이 이웃 라우터에게 라우팅 정보를 전송하는데 사용한다. 이웃에게 목적지에 대한 패킷 전달이 가능함을 나타내기 위해서 사용되어진다. 유니캐스트 및 멀티캐스트 형태로 전파되어지며, 새로운 네이버가 등장하는 경우 해당 라우터에게 유니캐스트로 전파하고, 링크 비용이 변하는 등 상태 변화에 대한 업데이트 시에는 멀티캐스트로 전파되어진다.

- 쿼리 패킷 / 응답 패킷: 두 패킷 모두 목적지에 대한 feasible successor가 없는 경우에 보내진다. 쿼리 패킷은 경로 정보를 요청하기 위해 사용되는 패킷으로 항상 멀티캐스트 형태로 운용되어진다. 응답 패킷은 쿼리에 대한 응답으로 보내어지는데 쿼리를 발한 라우터에게 자신이 feasible successor 경로가 있으므로 경로 재계산을 하지 않아도 된다는 응답으로서 메시지를 보내게 된다. 해당 라우터에게 유니캐스트 형태로 보내진다.

- 확인 패킷: 업데이트, 쿼리, 응답 패킷에 대한 확인으로써 사용되어지며 해당 패킷이 정상적으로 도착했음을 알리는 응답 신호이다.

EIGRP는 이러한 패킷 교환을 통해 필요 정보를 획득하여 각각의 테이블을 유지하고, 테이블에 저장된 정보를 경로 계산 공식을 이용하여 각각의 링크에 대한 메트릭을 계산하여 경로 선정에 필요한 자료로써 활용하는데 이러한 Legacy Network에서의

EIGRP를 운용하기 위한 필수 메시지 및 테이블들은 SDN 기반의 EIGRP를 설계함에 있어서도 동일하게 적용되었다.

EIGRP는 기본적으로 거리 벡터 기반 알고리즘이다. 그러나 링크 상태와 지연을 중요한 메트릭 요소로서 경로 결정을 위한 계산에 포함시킴으로서 링크 상태 알고리즘과 하이브리드 개념이 적용되었다고 볼 수 있다. 그래서 대표적인 링크 상태 기반 프로토콜인 OSPF와 유사한 특성을 갖지만 OSPF가 동일한 메트릭 결과값을 갖는 경로들 간에 부하분산(load balancing)이 가능한데 비해서 EIGRP에서는 메트릭 값이 다른 경우에도 successor와 Feasible Successor로 구분하여 다중경로에 대한 부하분산이 가능한 장점이 있다.

3. SDN 기반의 EIGRP 설계

3.1 H. Hasan의 접근방식 분석

본 논문에서는 우선 기존에 H. Hasan이 접근한 방식을 분석하여 제안하는 방식에 대한 차이점을 분석한다. H. Hasan의 연구에서 라우터들이 독립적으로 경로계산을 수행하며 컨트롤러와 공유하는 방식을 사용한 이유는 컨트롤러가 라우터의 제어를 위해 사용되는 secure channel의 단절 상황에서 컨트롤러의 통제를 잃은 라우터들은 네트워크의 제어를 잃고 본래의 기능을 상실할 수 있기 때문에 컨트롤러의 오류로 인해 전체 네트워크가 마비되는 상황을 우려하여 컨트롤러로부터 라우터가 독립성을 가지는 것이 중요하다고 생각하였다.

그러나 이러한 접근방식에 대해서는 Vasily Pa-

shkov는 HAC(High Available Controller)[10]과 Naga Katta는 REVANA 플랫폼[11] 등 SDN 환경에서의 신뢰성 향상을 위한 연구들이 지속되고 있다. 따라서 컨트롤러와 스위치 간 채널의 단절 상황만을 우려하여 라우터와 컨트롤러가 라우팅 책임에 동시에 갖는 구조를 사용한다면 제어평면과 데이터 전송평면의 분리를 추구하고자 하는 SDN의 기본 개념에도 부합하지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

또한 H. Hasan의 접근방식에서 라우터들은 개별적으로 라우팅 테이블, 토폴로지 테이블, 플로우 테이블을 가지고 경로 계산을 수행하고 그러한 정보를 공유한 것을 바탕으로 컨트롤러에게 플로우 엔트리를 제공받아 데이터 전송을 한다. 그러나 SDN의 구조에서 컨트롤러가 갖게 되는 global view는 전체 네트워크 토폴로지를 포함하기 때문에 각각의 라우터가 개별 테이블을 갖는 것은 중복되는 방식으로 비효율성을 갖게 된다.

3.2 컨트롤러 중심의 SDN기반 EIGRP

제안하는 방식에서는 SDN의 기본 개념을 준수하여 제어평면과 데이터 전송평면의 분리를 통해 컨트롤러에서 경로 계산 및 관리가 이루어질 수 있도록 하는 것을 목표로 하였다. 그러한 과정에서 몇몇 기능들이 개별 장비가 아닌 중앙 컨트롤러에서 통합적으로 수행됨에 따라서 중복되는 소요가 줄어들게 되어 효율성이 증가할 것으로 판단하였다. Fig. 2는 Hasan의 방식과 제안하는 방식의 네트워크 구축 시를 비교한 것이다. H. Hasan의 방식에서 각각의 라우터들이 수행한 중복 요소들이 컨트롤러에 통합됨으로써 훨씬 간결해진 모습을 볼 수 있다. 이러한 과

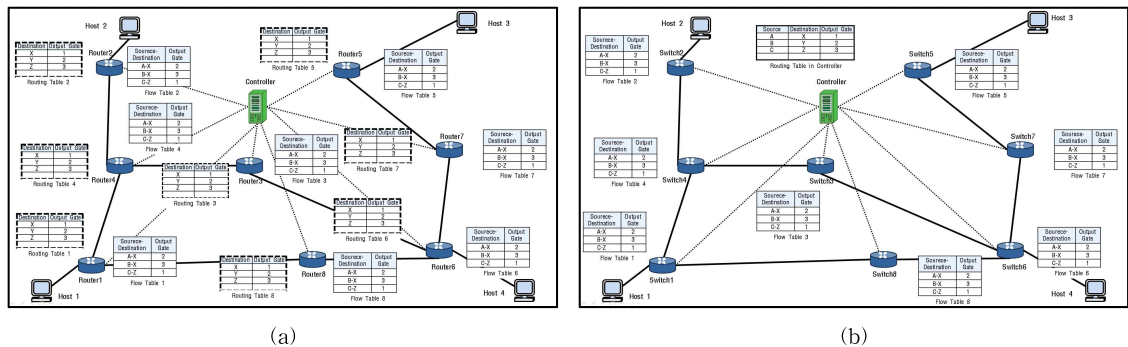


Fig. 2. The comparison of Hasan's method and proposed method's operating environment. (a) Hasan's method, (b) controller-centric the EIGRP based on the SDN.

정에서 보다 효율성이 향상됨을 증명하기 위해서 기존의 H. Hasan의 방식과 비교하고자 하였으나 실험 조건이 공개되어 있지 않아 실험에 어려움이 있었다. 따라서 기존에 제어평면과 데이터 전송 평면이 분리된 네트워크 환경에서 EIGRP의 운용과 관련된 연구 사례는 없기 때문에 본 논문에서는 SDN에 보다 최적화된 EIGRP를 구현하고 동작이 가능함을 나타내는 방식으로 연구를 진행하고자 하였다.

컨트롤러 중심의 EIGRP에서는 기본적으로 legacy network에서 개발된 EIGRP를 SDN 환경에서 적용하지만 운용 방식에서 차이점을 보인다. 스위치는 이웃 스위치를 통한 정보를 수집하여 neighbor table을 생성한다. 스위치는 네이버 테이블을 기반으로 여러 상태정보를 컨트롤러에게 제공하고 중앙의 강력한 컨트롤러는 그렇게 제공받은 정보를 기반으로 하여 topology table을 생성하며 이렇게 생성된 topology table을 기반으로 하여 전체 네트워크 환경에 대한 routing table을 생성 및 유지한다. 이후 스위치에 새로운 패킷이 도착하면 스위치는 컨트롤러에게 secure channel을 통해서 경로 정보를 요청하며 컨트롤러는 라우팅 테이블 및 전체 네트워크 토폴로지, 주기적인 업데이트 메시지에 의한 네트워크 상황 및 혼잡 발생 유무를 확인하고 그것을 기반으로 출발지로부터 목적지까지 최적의 경로를 선정하고 선정된 경로를 flow entry로써 스위치에게 제공하게 된다. 스위치는 제공받은 flow entry를 기반으로 flow table을 만들며 컨트롤러를 통해서 통제된 대로 flow table을 따라서 패킷을 포워딩하게 된다. 이러한 테이블 구성 및 패킷의 처리를 위해 Legacy Network 환경 하 EIGRP의 헬로 메시지, 확인 메시지, 업데이트 메시지를 동일한 동작절차를 가지고 운용되도록 하였으며, SDN 환경에서의 패킷-인 메시지(새로운 데이터 패킷이 도착한 경우 스위치가 컨트롤러에게 패킷의 처리를 위한 경로정보를 요청하는 메시지)와 패킷-아웃 메시지(경로정보를 스위치에 제공하기 위해 컨트롤러가 발행하는 메시지)를 추가하여 활용하고 그에 대한 확인 응답은 EIGRP의 확인 메시지가 추가적으로 수행하도록 하였다. 컨트롤러는 공개된 상용 컨트롤러에서 EIGRP 운용이 제한되어 기본 제어기능을 갖춘 자체 컨트롤러를 구성하여 활용하였다. 이를 위해 Upper bound I/F상에 토폴로지 테이블과 라우팅 테이블을 추가하고 저장된 정보를 기반으

로 EIGRP의 DUAL알고리즘을 컨트롤러가 수행하여 계산하도록 하였고 경로정보는 테이블에 저장되도록 활용할 수 있도록 구성하였으며, Lower bound I/F에서는 스위치의 필요정보제공 및 실질적인 패킷 정보처리를 담당하도록 하였고 구성 세부 인터페이스는 Fig. 2(b)에 나와 있는 것처럼 구성하였다.

4. 구현 및 실험

4.1 구현 환경

실험에는 Windows OS용 OMNeT++(Objective Modular Network Testbed in C++) 시뮬레이터가 사용되었다. OMNet++에 SDN기반의 EIGRP를 구현하면서 먼저 SDN에서 가장 대표적으로 사용되는 연결 프로토콜인 OpenFlow를 기반으로 하여 제어평면과 데이터 전송평면이 구분된 네트워크 환경을 구성하고 EIGRP는 응용으로써 컨트롤러의 통제를 받아 라우팅 프로토콜로써 활용이 되도록 하였다. EIGRP의 경로 계산을 위한 메트릭 및 K상수 조건은 모두 default 값으로 적용하였다.

Fig. 3은 OMNeT++에 구현된 구성 환경이다. (a)는 실험을 위해 사용된 토폴로지이며 1대의 클라이언트와 1대의 컨트롤러 2대의 스위치와 3대의 서버를 기반으로 하여 네트워크를 구성하였다. (b)는 실험에 사용된 컨트롤러의 인터페이스를 나타내며 SDN 컨트롤러를 자체 구성하여 사용하였다. SDN을 위한 기본 요소와 EIGRP를 운용하기 위해 토폴로지 테이블과 라우팅 테이블을 추가하였다. (c)는 스위치의 구성으로 네이버 테이블과 플로우 테이블을 가지고 있으며 라우팅 테이블은 컨트롤러로 이동하였다. 이러한 구성을 통해서 필요 정보 교환을 통해서 컨트롤러에서 라우팅 경로 계산이 이루어지고 스위치는 플로우 테이블을 통해서 데이터 패킷을 처리하는 SDN 기반의 EIGRP 운용을 위한 네트워크 환경을 구성하였다.

4.2 실험 결과

구현된 환경에서 시뮬레이션 동작 후 이벤트 로그를 분석하여 세부적으로 각각의 기능들이 정상적 동작함을 확인하였다. Fig. 4는 메시지 교환 이벤트 로그로써 (a)는 스위치 간 네이버 테이블 구성을 위한 헬로 패킷의 교환 과정이며, (b)는 경로의 상태를 확

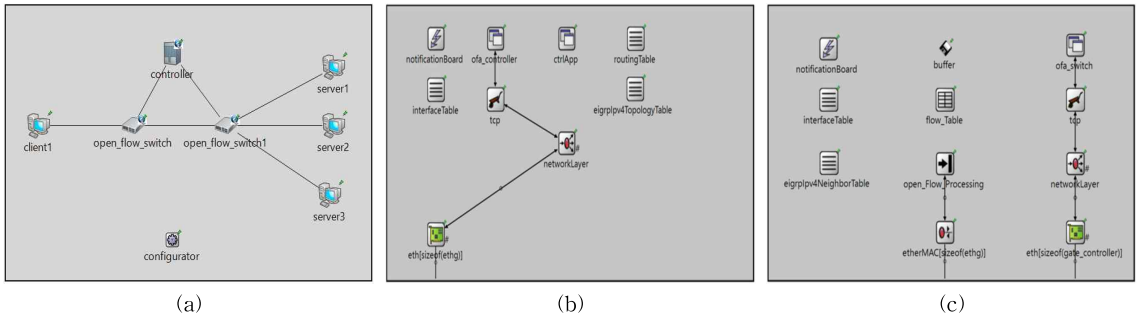


Fig. 3. Configuration used in experiment, (a) simulation topology, (b) configuration of controller, (c) configuration of switch,

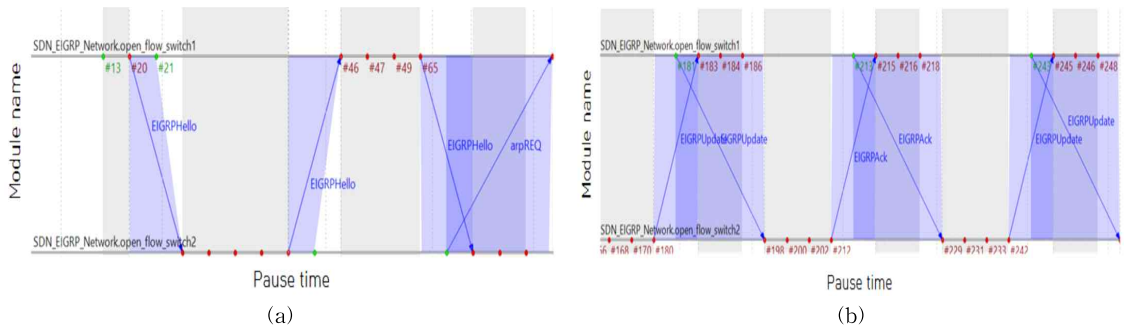


Fig. 4. Message exchange event log. (a) EIGRP_hello_message, (b) EIGRP_update_message.

인하여 업데이트 패킷을 교환하는 과정으로써 이상 없이 동작함을 확인하였다.

Fig. 5는 경로 확인을 위한 메시지 교환 이벤트 로그로써 스위치가 데이터 패킷을 처리하는 과정에서 필요 경로 확인을 위해서 컨트롤러와 패킷 인/아웃 메시지 교환을 통해 경로 정보를 획득하는 과정에서 일어나는 메시지 교환을 확인한 것이다. 그림에서 보면 스위치 1에서 패킷의 처리를 위한 경로정보를

컨트롤러에게 요청하는 Packet-In 메시지(#401)와 컨트롤러는 경로 계산을 통해 확인된 경로를 컨트롤러가 스위치에 제공하는 Packet-out 메시지(#420)의 교환과 각각의 메시지에 대한 Ack 메시지들의 교환이 정상적으로 수행되는 것이 나타나 있다.

실험 결과 구현된 SDN 기반의 EIGRP 환경에서 기존의 Legacy Network에서 라우터가 수행했던 라우팅 기능을 Control Plane에서 Controller가 수행하

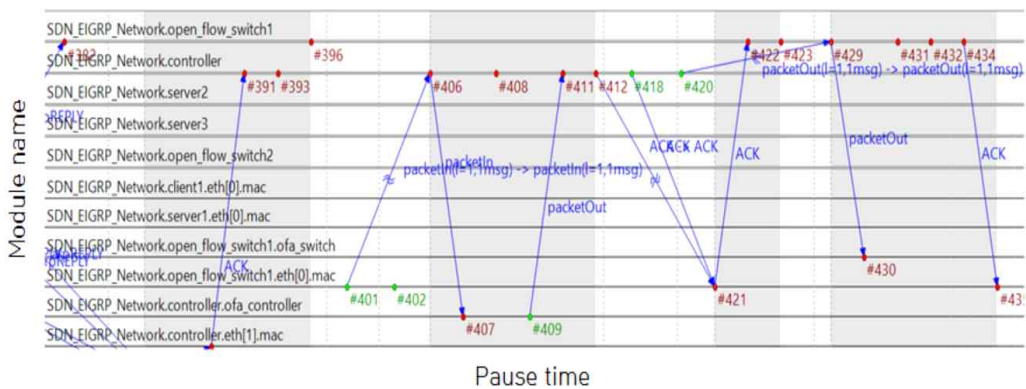


Fig. 5. Message exchange event log for route confirmation,

도록 하더라도 정상적으로 네트워크 기능발휘가 가능함을 확인함으로써 EIGRP가 차후 발전하는 SDN 환경에서도 충분히 활용되어질 수 있는 것을 확인하였다. 실험 환경 구성의 제한으로 간단한 단일 토폴로지 환경에서의 운용만을 실험하였는데 차후 더욱 다양한 토폴로지 환경에서의 실험이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 SDN에서의 최적의 성능 발휘를 위한 제어 평면 Controller 중심의 SDN 기반의 EIGRP를 제안하였다. 또한 OMNeT++ 네트워크 시뮬레이터를 통해 구현하고 실험을 통해 동작이 정상적으로 이루어짐을 확인하였다. 이를 통해 SDN환경에서 EIGRP 기반의 네트워크를 구성하는 경우에도 순수 SDN기반의 네트워크에서 화이트박스 하드웨어들을 이용한 구성이 가능함을 확인하여 경제적 효율성을 유지할 수 있고 사용자 중심의 네트워크 환경 구성이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 단일 토폴로지를 이용한 네트워크 환경에서만 실험이 진행되고, 실험적 한계로 인해 SDN 환경에서의 EIGRP를 운용의 효율성에 대한 평가가 이루어지 못하였으며, 가상 시뮬레이션을 통한 실험이 수행되었기 때문에 향후 연구를 통해 다양한 토폴로지에서의 실험과 성능의 효율성에 대해서, 추가적으로 가상환경이 아닌 실제 장비를 활용한 네트워크에서 SDN 기반의 EIGRP를 운용하는 연구가 필요할 것이다.

REFERENCE

- [1] A. Bansal, "Simulation of Route Redistribution among RIP, EIGRP & OSPF Routing Protocols," *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, Vol. 6, Issue. 7, pp. 74-84, 2017.
- [2] H. Hasan and J. Cosmas, "Load Balance & Congestion Avoidance in EIGRP Networks by using the Characteristics of the OpenFlow Protocol," *Proceeding of International Network Conference*, pp. 47-58, 2014.
- [3] H. Hasan, J. Cosmas, Z. Zaharis, P. Lazaridis, and S. Khwandah, "Improve of Performance of EIGRP Network by Using a Supervisory Controller with Smart Congestion Avoidance Algorithm," *Proceeding of International Conference on Telecommunications and Multimedia*, pp. 1-8, 2016.
- [4] Software-Defined Networking (SDN) Definition, <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/> (accessed Nov., 10, 2017).
- [5] G. Bang, D. Choi, and S. Bang, "A Protection Method using Destination Address Packet Sampling for SYN Flooding Attack in SDN Environments," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 35-41, 2015.
- [6] CISCO, *An Introduction to EIGRP*, Cisco Systems, 2005.
- [7] CISCO, *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*, Cisco Systems, 2016.
- [8] Cisco Systems, *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol(EIGRP) Wide Metrics White Paper. Documnet*, ID: 1456189976114862, 2017
- [9] C. Systems, http://docwiki.cisco.com/wiki/Enhanced_Interior_Gateway_Routing_Protocol?dtid=ossdc000283 (accessed Aug., 22, 2017).
- [10] V. Pashkov, A. Shalimov, and R. Smeliansky, "Controller Failover for SDN Enterprise Networks," *Proceeding of International Science and Technology Conference*, pp. 1-6, 2014.
- [11] N. Katta, H. Zhang, M. Freedman, and J. Rexford, "Ravana: Controller Fault-Tolerance in Software-Defined Networking," *Proceeding of ACM SIGCOMM Symposium on Software Defined Networking Research*, Article No. 4, pp. 1-12, 2015.
- [12] D. Kreutz, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Letters*, Vol 103, Issue 1, pp. 14-76, 2015.



최 영 준

2009년 원광대학교 군사학과 학사
2018년 국방대학교 컴퓨터공학과 석사



권 태 욱

1986년 육군사관학교 컴퓨터공학과 졸업
1995년 미국 해군대학원 컴퓨터공학과 석사
2001년 연세대학교 컴퓨터공학과 박사

2007년~현재 국방대학교 컴퓨터공학과 교수