

# Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software 매뉴얼

OF@TEIN Document No. 4  
Version  
Date 2013-12-23  
Author(s) POSTECH OF@TEIN 팀

■ 문서의 연혁

버전	날짜	작성자	비고
초안	2013.08.25	송황준, 김완, 최규휘	
0.1	2013.09.09	최규휘	
0.2	2013.11.14	최규휘	
0.3	2013.12.23	최규휘	

본 문서는 한국정보화진흥원(NIA)의 미래네트워크연구시험망(KOREN)사업  
지원과제의 연구결과로 수행되었음 (13-951-00-001).

This research was one of KOREN projects supported  
by National Information Society Agency (13-951-00-001).

## Contents

<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1 Goals of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software .....	1
1.2 Overview of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software .....	1
<b>2. Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software</b> .....	<b>3</b>
2.1 Overview of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software .....	3
2.2 Monitoring VM Module .....	4
2.3 Multipath QoS Routing Module .....	4
2.4 Dynamic Maintenance Module .....	5
2.5 Implementation Verification .....	5
2.5.1 Multipath Routing sub-module .....	5
2.5.1.1 Test Scenario 1 .....	6
2.5.1.2 Test Scenario 2 .....	7
2.5.2 QoS Routing sub-module .....	8
2.5.3 Monitoring VM Module .....	8
2.5.4 Dynamic Maintenance Module .....	8
<b>References</b> .....	<b>9</b>

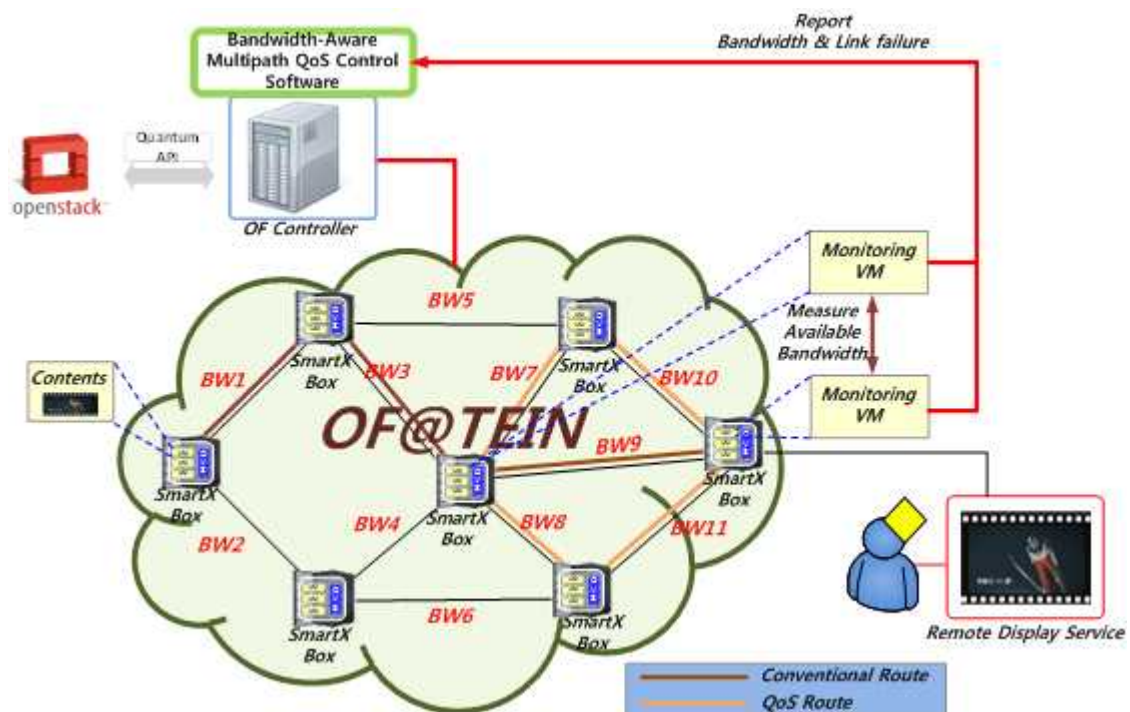
## 그림 목차

[그림 1] Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software .....	1
[그림 2] Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software Structure .....	4
[그림 3] Experimental Network Topology for multiport splitting function .....	6
[그림 4] ICMP packet transmission for verification of multiport splitting function .....	7
[그림 5] ICMP packet transmission for verification of packet scheduling. ....	8

## 1. Introduction

### 1.1 Goals of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software

OpenFlow[1] 기반 SDN(Software Defined Networking)[2] 네트워크상에서 SmartX box을 활용하여 네트워크의 link 상태 및 가용 대역폭의 정보를 모니터링 및 경로 재설정을 함으로서 link의 fail 상태에 따른 문제를 해결하고 영상 스트리밍 서비스의 끊김 없는 재생과 QoS를 지원하기 위한 연구 및 개발을 진행한다.



[그림 1] Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software.

### 1.2 Introduction of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software

Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software는 OpenFlow 컨트롤러와 통신하며 동작하는 Application으로서 Openflow 컨트롤러의 모듈과 같은 형태의 Application이다. Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software는 위에서 언급한 목표를 위해 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 모니터링 모듈을 이용한 네트워크 점검 및 가용 대역폭 측정
- Link 간 대역폭 정보 기반의 QoS 경로 설정 지원

- SmartX box간의 link의 fail 상태 및 bottleneck 현상 발생 시 QoS 만족을 위한 임시적 다중 경로 설정 지원
- 동적인 네트워크 변화에 따른 Flow들의 QoS 보장을 위한 Flow의 동적 관리 지원

Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software는 1차년도와 2차년도로 나누어 기능을 개발한다. 우선 1차년도에는 네트워크 에뮬레이터인 Mininet[3] 환경에서 Multipath 기능을 제공하는 Multipath Routing sub-module을 개발하여 OF@TEIN에서 적용 전 개발 모듈의 성능 점검을 목표로 한다. 2차년도에는 모니터링 모듈을 이용한 네트워크 점검 및 가용 대역폭 측정 기능과 link 간 대역폭 정보 기반의 QoS 경로 설정 기능, SmartX box간의 link의 fail 상태 및 bottleneck 현상 발생 시 QoS 만족을 위한 임시적 다중 경로 재설정 기능을 개발하여 flow의 대역폭에 대한 QoS 요구를 만족 시켜 줄 수 있는 경로 설정 기능과 네트워크의 동적 변화에도 flow의 QoS보장 기능 제공을 목표로 한다.

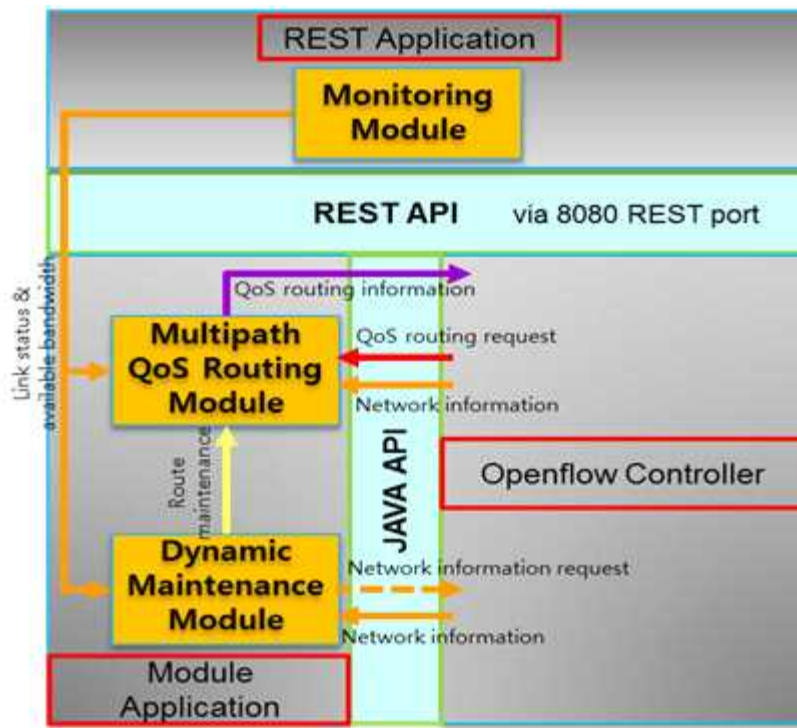
## 2. Bandwidth-aware QoS Multipath Routing Software

### 2.1 Overview of Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software

Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software는 총 2차년도에 걸쳐 개발하는 link fail 상태나 bottleneck 상태와 같은 동적 네트워크 변화에 대해 flow의 QoS를 보장하는 Module Application로서 주요 기능에 대한 설명은 아래와 같다.

- 모니터링 모듈을 이용한 네트워크 점검 및 가용 대역폭 측정 - SmartX box에서 VM으로 동작하는 모니터링 모듈들을 이용하여 각 link의 fail 상태 점검 및 가용 대역폭 측정을 한다. 각 정보들은 주기적으로 Bandwidth-aware Multipath QoS Control Software로 보고된다.
- Link 간 대역폭 정보 기반의 QoS 경로 설정 지원 - 각 link 정보 모니터링 모듈로부터 수집한 link간 대역폭 정보와 OF controller로부터 수집한 네트워크 토폴로지 정보를 기반으로 Flow에 대한 QoS를 만족시킬 수 있는 경로를 제공하여 OF controller의 flow에 대한 경로 선택 과정을 지원한다.
- SmartX box간의 link의 fail 상태 및 bottleneck 현상 발생 시 QoS 만족을 위한 임시적 다중 경로 설정 지원 - OpenFlow 기반 SDN 네트워크의 link fail 상황이나 link의 bottleneck 현상으로 인한 가용 대역폭 부족 상황에서 flow의 QoS를 만족시키기 위해 SmartX box의 link 상태 모니터링 모듈을 활용한 QoS를 만족시킬 수 있는 임시적인 다중 경로 재설정 기능을 제공한다.
- 동적인 네트워크 변화에 따른 Flow들의 QoS 보장을 위한 Flow의 동적 관리 지원 - 시변화적인 네트워크의 특성으로 인하여 기존 flow의 경로가 QoS를 만족시키지 못하는 상황을 고려하여 주기적으로 flow들의 경로가 QoS를 만족하는지 점검하여 Openflow 컨트롤러의 새로운 최적의 경로 설정을 지원하여 항상 QoS를 보장하도록 한다.

Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software는 위와 같은 기능을 제공하기 위해 REST API를 기반으로 통신하는 Monitoring VM module과, JAVA API를 기반으로 통신하는 Multipath QoS Routing module, Dynamic Maintenance module로 구성이 되어 있다.



[그림 2] Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software Structure.

## 2.2 Monitoring VM Module

Monitoring VM Module은 SmartX box의 VM 형태로 동작하면서 주변 Monitoring VM Module과 주기적인 통신을 통해 가용 대역폭 측정과 link 상태에 대한 정보를 수집한다. Monitoring VM Module은 임의의 트래픽을 전송함으로써 가용 대역폭 정보를 수집한다. 수집된 정보는 Multipath QoS Routing Module과 Dynamic Maintenance Module에게 보고된다.

## 2.3 Multipath QoS Routing Module

Multipath QoS Routing Module은 네트워크 토폴로지 정보와 link의 가용 대역폭, flow들의 QoS 요구 대역폭 정보를 기반으로 QoS를 보장하는 flow의 경로 정보를 생성한다. 해당 경로 정보를 OpenFlow 컨트롤러에서 경로 설정 시 참조할 수 있도록 지원한다. 이를 위해 Multipath QoS Routing Module은 Monitoring Module과 OpenFlow controller로부터 네트워크 토폴로지 정보와 link의 가용 대역폭, flow들의 QoS 요구 대역폭 정보를 제공받는다.

Multipath QoS Routing Module은 multipath routing sub-module과 QoS routing sub-module로 구성된다. Multipath routing sub-module은 flow에 대한



새로운 경로 설정 시 QoS 보장이 가능한 최소한의 경로 수를 설정한다. QoS routing sub-module 부분은 flow에 대해서 QoS 보장 가능한 최적의 경로를 결정한다.

1차년도 개발에서는 multipath routing sub-module에서 단일 flow를 분할하여 여러 인터페이스로 전송이 가능한 multiport splitting function을 개발하였다. Multiport splitting function은 OpenFlow 1.3 Group table의 action bucket과 STP-free switching을 기반으로 하여 OpenFlow 스위치에서 자동으로 하나의 flow를 여러 개의 sub-flow로 나누어 줄 수 있다. 추후 Routing function부분이 개발, 통합한다면 multipath routing sub-module을 완성할 수 있다. 2차년도 개발에서는 multipath routing sub-module의 안정화와 multipath 환경에서 QoS routing 기능을 제공할 수 있는 QoS routing sub-module을 개발할 예정이다. Multipath QoS Routing Module은 두 개의 sub-module을 이용하여 QoS 보장 가능한 단일 경로를 찾고 flow의 QoS 만족 여부에 따라 추가적인 경로 설정을 통해 QoS 보장 가능한 다중 경로를 설정함으로써 flow의 QoS를 보장한다.

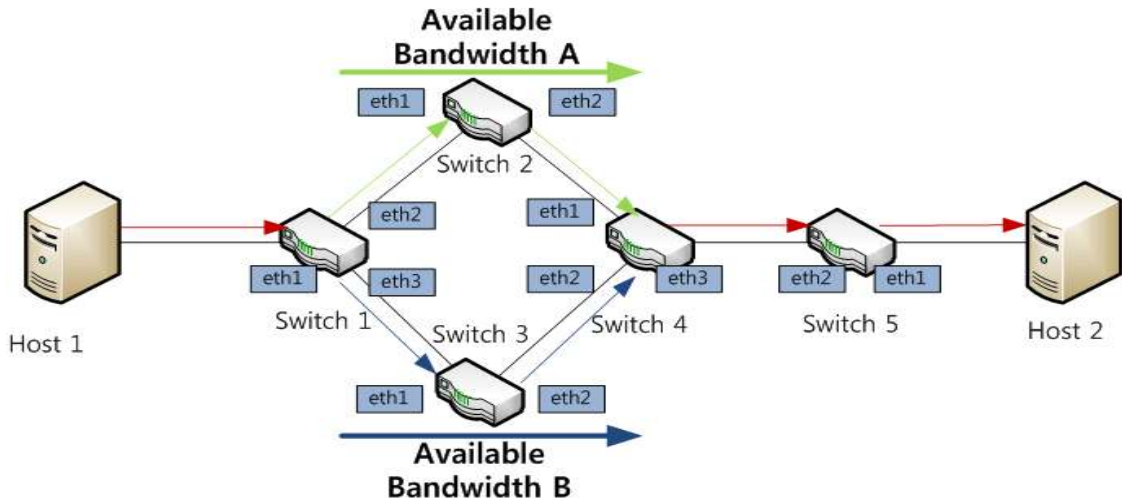
## 2.4 Dynamic Maintenance Module

Dynamic Maintenance Module은 전체 flow의 QoS 요구 대역폭과 각 link의 가용 대역폭 정보를 이용하여 주기적으로 flow들의 QoS를 점검한다. QoS를 만족 시킬 수 없는 flow들에 대해 Multipath QoS Routing Module에게 경로를 재설정을 요청함으로써 해당 flow들의 QoS를 만족 시킬 수 있도록 한다. 이를 위해 Dynamic Maintenance Module는 Monitoring VM Module로부터 받은 각 link의 가용 대역폭과 OpenFlow 컨트롤러에게로부터 flow의 QoS 요구 대역폭을 주기적으로 제공 받는다.

## 2.5 Implementation Verification

### 2.5.1 Multipath Routing sub-module

Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software에서 1차년도 개발 목표인 Multipath QoS Routing Module의 multipath routing sub-module 개발 과정의 결과물인 multiport splitting function에 대한 기능 검증을 위해 시험 네트워크를 구성한다. 시험 네트워크는 네트워크 에뮬레이터인 mininet을 사용하여 구성하였고 기능 검증을 위한 네트워크 토폴로지는 다음 그림과 같다.



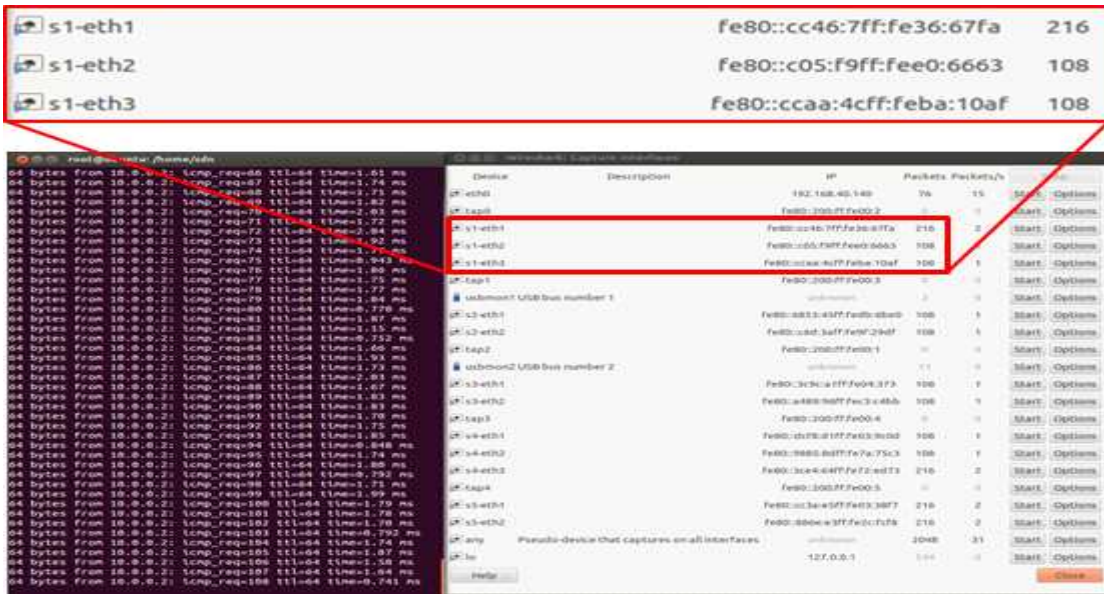
[그림 3] Experimental Network Topology for multiport splitting function.

이와 같은 환경을 대상으로 multiport splitting function에 대한 기능 검증은 다음과 같은 시나리오로 진행한다.

- Scenario 1: 종단 간 다중 인터페이스 분할 테스트 - QoS 관리 기능을 제외한 다중 경로 설정 기능 점검으로 종단간 트래픽 발생 시 단일 flow에 다중 인터페이스 분할 설정 여부 점검
- Scenario 2: 경로 별 가용 대역폭에 따른 다중 인터페이스 분할 테스트 - 다중 인터페이스의 경로 별 종단 간 가용 대역폭 비율에 따른 인터페이스별 트래픽 측정

### 2.5.1.1 Test Scenario 1

[그림 3]과 같은 네트워크 토폴로지 상에서 호스트 1에서 호스트 2로 전송되는 ICMP packet를 네트워크 패킷 분석 프로그램인 Wireshark[4]를 이용하여 다중 인터페이스로 전송되는지 여부를 확인한다. [그림 4]는 Wireshark를 통해 확인된 Switch 1의 ICMP packet count 결과이다. Host 1에서 전송된 ICMP packet이 Switch 1의 eth1 인터페이스로 들어와 eth2 과 eth3 인터페이스로 동일하게 전송됨을 볼 수 있다. 이 실험을 통해 multiport splitting function의 다중 인터페이스 분할 기능이 정상적으로 동작함을 알 수 있다.



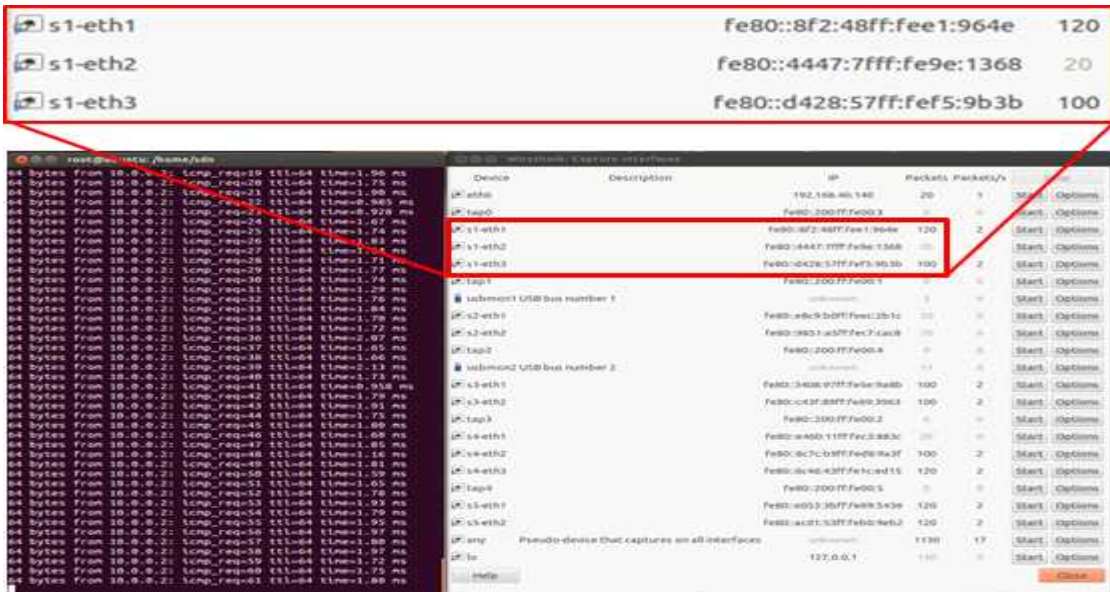
[그림 4] ICMP packet transmission for verification of Multiport splitting function.

### 2.5.1.2 Test Scenario 2

Multipath QoS Routing Module의 sub-module인 multipath routing sub-module은 flow의 다중 인터페이스 분할 시 각 경로의 가용 대역폭 정보를 기반으로 패킷을 분배하도록 한다. 이를 위해 multiport splitting function은 각 경로의 가용 대역폭 정보 기반으로 하여 각 인터페이스로 패킷을 분배하여 전송한다. [그림 5]는 각 경로의 가용 대역폭 A와 B의 비율에 따른 패킷 분배의 기능 검증에 대한 실험 결과이다. 마찬가지로 [그림 3]과 같은 네트워크 토폴로지 상에서 호스트 1에서 호스트 2로 전송되는 ICMP packet를 통해 확인해보면 가용 대역폭 A와 B의 비율이 1:5 일 때 각 경로로 전송되는 패킷의 비율 역시 같음을 볼 수 있다. 이를 통해 multiport splitting function의 가용 대역폭 기반 패킷 분배에 대한 기능 검증할 수 있다.

### 2.5.1.3 보완 사항

Multipath routing sub-module의 전체 기능을 지원하기 위해서는 OpenFlow 컨트롤러에서 각 스위치들의 DPID(DataPath ID)정보와 인터페이스 정보, 스위치들간 상호 연결된 인터페이스의 정보가 필요하다. 해당 정보를 기반으로 flow에 대한 다중 경로를 생성하고 이 경로들 중 임의의 수의 경로를 선택하여 경로상 스위치들의 flow table을 수정함으로써 flow를 분할, 다중 경로로 전송 할 수 있다. 현재로서는 경로가 분리되는 스위치에서 flow 분할 기능을 지원할 수 있다. 2차년도 개발에서는 위 사항을 고려하여 경로를 다중으로 생성하는 부분을 구현하여 전체 기능을 지원한다.



[그림 5] ICMP packet transmission for verification of packet scheduling.

## 2.5.2 QoS Routing sub-module

## 2.5.3 Monitoring VM Module

## 2.5.4 Dynamic Maintenance Module

## References

- [1] McKeown, Nick, et al. "OpenFlow: enabling innovation in campus networks." ACM SIGCOMM Computer Communication Review 38.2 (2008): 69-74.
- [2] McKeown, Nick. "Software-defined networking." INFOCOM keynote talk, Apr (2009).
- [3] Bob Lantz , Brandon Heller , Nick McKeown, A network in a laptop: rapid prototyping for software-defined networks, Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks, p.1-6, October 20-21, 2010, Monterey, California
- [4] Chappell, Laura A. Wireshark Network Analysis: The Official Wireshark Certified Network Analyst Study Guide. Protocol Analysis Institute, Chappell University, 2010.

## *Bandwidth-aware Multipath QoS Routing Software* 매뉴얼

- 광주과학기술원의 확인과 허가 없이 이 문서를 무단 수정 및 배포하는 것을 금지합니다.
- 이 문서의 기술적인 내용은 OF@TEIN 프로젝트의 진행과 함께 별도의 예고 없이 변경될 수 있습니다.
- 최신의 정보로 갱신된 매뉴얼에 대한 정보와 매뉴얼에 대한 문의 사항은 아래의 정보를 참조하시길 바랍니다.
  - Homepage: [trac.nm.gist.ac.kr/tein\\_public](http://trac.nm.gist.ac.kr/tein_public)
  - E-mail: [tein\\_admin@nm.gist.ac.kr](mailto:tein_admin@nm.gist.ac.kr)

작성기관: 광주과학기술원

작성년월: 2013/09