

혼합트래픽 환경에서 Open Flow 네트워크 성능 평가

OpenFlow Network Performance Evaluation under Heterogeneous Traffic

염재근*, 이창무*, 최덕재*, 석승준**, 송왕철***, 허지완****
전남대학교 전자컴퓨터공학과*, 경남대학교 컴퓨터공학과**, 제주대학교 컴퓨터공학과***,
국가수리과학연구소 미래인터넷연구팀****

Jae Keun Yeom(jaekeun0208@gmail.com)*, Chang-Moo Lee(dlckdan1004@nate.com)*,
Deok Jae Choi(dchoi@jnu.ac.kr)*, Seung Jun Seok(sjseok@kyungnam.ac.kr)**,
Wang Cheol Song(kingiron@gmail.com)***, Jee-Wan Huh(jeewan@nims.re.kr)****

요약

네트워크의 새로운 구조와 신개념 서비스 연구를 위한 연구망에서의 트래픽은 매우 다양한 속성을 지니게 된다. 이러한 연구망에서 단일 라우팅 프로토콜을 이용하는 것은 다양한 트래픽 속성을 만족시키는데 한계가 있다. 본 연구에서는 트래픽 특성을 두 가지 유형으로 분류하고 각 유형별로 최적화 기법을 이용한 알고리즘을 적용하여 독립적인 다중 포워딩 경로를 제공함으로써, 전체적으로 최적화 효과를 얻을 수 있는 방안을 제시하고, 실험으로 이를 입증한다. 구분된 유형별 트래픽은 스위치의 각 포트별로 할당되며, 각 유형별 포워딩 경로를 제공하기 위하여 OpenFlow 기술을 사용한다. 즉, 하나의 망에 트래픽 유형별로 복수 개의 경로를 OpenFlow Controller에서 구동하여 그 결과를 Forwarder에서 실행함으로써 트래픽의 만족도를 향상 시키는 시스템을 구현할 수 있는 방안을 제시한다.

■ 중심어 : | 다양한 요구조건 | OpenFlow | 다중 경로 |

Abstract

The traffic in research network for the new structure of the network and new service research has the various properties. From the perspective of a specific traffic point of view, transmission of traffic with different requirements using a single routing protocol is an obstacle to satisfy requirements. In this study, we classify the properties of the traffic into two types. We propose the way that we can get the overall optimization effect, the experiment proves it by providing independent multiple forwarding path by applying optimized algorithm by types. In order to distinguish each type of traffic we use the ports on the switch and in order to implement independent path we apply OpenFlow system. In other words, we present the measure that can be implemented to improve the satisfaction of the traffic by making multiple paths by OpenFlow controller according to the type of traffic and by enforcing in Forwarder.

■ keyword : | Various Requirement | OpenFlow | Multi-path |

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국가수리과학연구소의 주요사업에서 지원을 받아 수행된 연구임 (NO.A21201)

접수번호 : #121025-001

접수일자 : 2012년 10월 25일

심사완료일 : 2012년 11월 14일

교신저자 : 염재근, e-mail : jaekeun0208@gmail.com

1. 서론

연구망이란 상용망에서 수용할 수 없는 대규모 용량과 초고속 응용애플리케이션을 개발 및 실험하고, 새로운 인터넷 기술을 상용망에 실험하기 위한 연구전용 인프라이다. 연구망은 현재 초고속선도망, 연구전산망, 선도시험망 등 다양한 이름으로 명명되고 있다. 우리나라에서는 국내 연구망으로 KOREN(KOrea advanced REsearch Network), KREONET(Korea research Environment Open Network) 등이 있고, 국제 연구망으로는 APII(Asia-Pacific Information Infrastructure) Testbed, TEIN(Trans Eurasia Information Network) 등이 있다. 연구망은 상용망의 대역폭에 비해 대용량의 대역폭을 사용하기 때문에 첨단 네트워크 및 애플리케이션 기술 등을 원활하게 연구할 수 있다. 품질보장기법, 멀티캐스트, 새로운 암호기술을 연구망에서 충분히 활용하여 검증은 거친 후에 비로소 기존 상용망에 적용시키는 것이 안전하기 때문에 연구망은 새로운 네트워크 기술을 상용망 적용 이전에 시험, 검증할 경우에 적합하다.

현재 KOREN과 TEIN을 활용하여 웹기반 개방형 인터넷 TV(IPTV), 의료 협업 연구, 원격 의료 교육, 차세대 모바일 네트워크, OpenFlow 기반의 가상네트워크 인프라 구축 등의 연구과제가 활발히 진행되고 있다. 각각의 과제들은 한 연구망에서 이루어지지만 트래픽의 특성들이 모두 다르기 때문에 효율적이고 정확한 연구를 위해 트래픽들의 요구조건을 조사하고 만족시켜야 한다. 또한 원격 의료 교육과 같은 어플리케이션 연구 분야에서는 사람의 생명과 직접적으로 연관되어 있기 때문에 트래픽의 요구조건을 만족할 수 있도록 최적화되어야 한다. [표 1]은 트래픽 종류에 따라 ISP 네트워크에 대한 QoS 제공하는 방안을 나타낸다.

표 1. ISP 네트워크에 대한 QoS 제공 방안

트래픽 종류	QoS 요구사항			
	대역폭	Latency	Jitter	패킷손실
VoIP 음성	정해진 대역폭 보장	낮음, 150ms미만	낮음	낮음
VoIP 신호	모두수용	중간	중간	낮음
Game	정해진 대역폭 보장	중간	중간	낮음
Best Effort	·	·	·	·

본 논문에서는 서로 다른 요구조건을 가진 2가지 유형의 트래픽을 이용하여 포워딩 알고리즘을 적용한다.

첫 번째 유형은 2.5Mbit/s 이상의 가용대역폭을 요구하는 비탄력적 트래픽이다. 이 트래픽은 스트리밍 미디어 서비스를 제공하는 경우에 해당하며 지연과 링크의 대역폭에 민감하다. Apple TV, Google TV나 Sony TV Blu-ray Disc Player의 경우 고화질을 위해 10Mbit/s의 가용대역폭을 요구한다. [표 2]는 P2PTV 기술을 기반으로 완전한 길이의 영화를 공유하는 쌍방향 미디어 디바이스를 주력상품으로 내세우는 Vudu사가 제안한 스트리밍 속도를 나타낸 것이다. 본 논문에서는 첫 번째 유형의 트래픽의 요구조건을 HD화질의 요구조건인 2.5Mbit/s 이상의 스트리밍 속도로 정하였다.

표 2. Vudu에서 제안한 스트리밍 속도

스트리밍 속도	품질	설명
1.0-2.3Mb/s	SD	표준 비디오
2.3-4.5Mb/s	HD	720p품질 비디오
4.5-9Mb/s	HDX	1080p품질 비디오
9Mb/s이상	3-D HD	3-D 비디오

두 번째 유형은 패킷 무 손실을 요구하는 탄력적 트래픽이다. 파일 전송의 경우에 해당하며 전송속도는 느리더라도 완전한 패킷을 전송하여야한다. 따라서 두 번째 유형의 트래픽은 첫 번째 유형의 트래픽보다 우선순위가 낮으며 첫 번째 트래픽이 사용한 경로가 아닌 다른 경로를 사용한다. 우리는 첫 번째 유형을 비탄력적 트래픽으로 분류하고 두 번째 유형을 탄력적 트래픽으로 분류하여 실험하였다[4][5].

OpenFlow의 핵심 개념은 네트워크가 data plane과 control plane으로 나누어 서로 다른 벤더의 네트워크 장비들을 하나의 통일된 규격의 OpenFlow에 의해 운용 가능하도록 한다는 것이다. OpenFlow 네트워크는 control plane이 해당 네트워크의 다수의 forwarder들을 제어한다. OpenFlow는 OpenFlow 프로토콜이라는 개방형 프로토콜을 제공한다. 이 프로토콜을 이용하여 flow-table을 프로그래밍 하여 하부의 스위치와 라우터로 구성된 하나의 네트워크를 분할 할 수 있고 각각의

흐름들을 제어할 수 있다. 본 논문에서는 OpenFlow 환경에서 요구조건이 다른 트래픽 흐름들을 제어하여 요구조건에 따른 만족도를 측정한다[2][7][8].

본 논문의 순서는 다음과 같다. II장에서는 다중경로에 관한 연구를 설명하고 III장에서는 OpenFlow의 설계 및 구현에 관해서 설명하며, IV장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대해서 설명하고, V장에서는 테스트베드에서 실험한 결과를 분석한다. VI장에서 결론에 대해서 말하겠다.

II. 관련 연구

[5]에서는 하나의 링크에 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽의 링크의 대역폭 분배 방식에 대해서 실험하였다. 하나의 링크에 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽이 흐를 때, 각각 탄력적 트래픽의 요구조건을 배제하고 비탄력적 트래픽의 요구조건을 우선시하는 방법과 큐잉 관리 기술을 사용하는 방법을 제안하였다. 하지만 이 방법은 탄력적 트래픽의 요구조건을 만족시킬 수 없다는 문제를 안고 있다. Padhye가 제안한 TFRC기법은 TCP 친화적인 전송률 조절 기법의 대표적인 예이며 패킷의 크기, 패킷 손실률, 중단 간 지연, 재전송 타임아웃을 이용하여 전송률을 계산하는 모델링 공식을 제안하였다[1][6]. 이 기법은 비디오 스트림의 전송률을 TCP 친화적으로 조절하게 된다. 하지만 이 기법은 전송률의 변화가 크게 발생할 수 있다는 문제점을 가지고 있어 비디오 스트리밍의 품질을 보장하지 않는다는 한계를 가진다. 본 논문에서 제안하는 방법은 독립적인 경로를 제공하기 때문에 전송률의 변화가 크게 발생하지 않아 비탄력적 트래픽의 요구조건을 향상시킬 수 있다. 이와 같이 비탄력적 트래픽의 요구조건을 보장하기 위한 여러 가지 해결책이 있지만 다른 종류의 트래픽이 하나의 링크에 보내질 때 부정적인 영향을 받을 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 한계를 극복하기 위해 기존의 최적의 경로와 함께 사용하지 않는 다른 경로를 이용하여 각각의 경로에 트래픽을 분할하여 전송하는 방법을 통해 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽의 요구조

건 만족도를 향상시키는 기법을 제안한다.

II.1. 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽

탄력적 트래픽은 실시간 전송 조건을 만족시키지 않아도 되므로 지터나 지연에 영향을 받지 않는다[5]. 또한 TCP 프로토콜을 사용하는 데이터를 보내는 FTP, HTTP, e-mail 어플리케이션과 연관이 있다. 이 어플리케이션들은 네트워크의 상태에 영향을 많이 받고 최소 대역폭을 요구하지는 않는 대신 정확한 트래픽 전송을 요구한다. 그래서 best-effort 서비스만으로도 충분하다. 정확한 트래픽 전송을 위해서는 패킷 손실이 없어야 한다. 패킷 손실은 대부분 라우터의 처리과정에서 일어난다. 라우터의 메모리가 부족하거나 cpu의 과부하로 인해 처리 속도가 늦어져 들어오는 패킷들이 손실된다.

반면 비탄력적 트래픽은 지연에 민감하다. 이 트래픽은 RTP(real-time transport protocol) 프로토콜을 사용하는 어플리케이션과 연관이 있으며 관련된 서비스는 VoIP, IPTV, VoD 등이 있다[4][11] 비탄력적 트래픽은 패킷 손실이 생기더라도 지연에 매우 민감하다. 예를 들어 사용자가 실시간 스트리밍 비디오를 보고 있다고 했을 때, 서버에서 단말 사용자까지 RTP프로토콜을 사용하여 데이터를 보낸다. 수신된 데이터는 즉시 사용자가 스트리밍 비디오를 볼 수 있도록 인코딩을 거쳐 사용자에게 보이게 된다. 비디오 및 오디오 프레임은 40ms마다 사용자에게 보여주어야 하기 때문에 약간의 패킷 손실이 일어나더라도 지터 및 지연이 최소화 되어야 한다. 또 다른 예로 사용자가 VoIP 서비스를 이용한다고 했을 때, 단방향 응답지연이 150ms이하가 되어야 하기 때문에 비탄력적 트래픽은 높은 대역폭이 필요하다.

II.2. OPEN FLOW

OpenFlow는 미 스탠포드 대학교에서 clean-slate 프로젝트의 일환으로 시작되었으며, 현재는 많은 네트워크 업체와 대학, 연구소가 OpenFlow 컨소시엄을 구성하여 연구하고 있다. OpenFlow 컨소시엄에서는 OpenFlow의 사양을 지정하며 각 네트워크 업체들이 자사의 제품에 OpenFlow기술을 도입하여 차세대 네트

워크에 대응하고 있다. 이는 네트워크 장비 업체마다 각각의 고유 인터페이스를 제공하는 것을 벗어나 하나의 통합된 인터페이스를 제공하여 OpenFlow 기술 하나 다양한 업체의 장비들이 혼재한 네트워크를 조작할 수 있는 가능성을 열어 줄 뿐 아니라 차세대 네트워크의 핵심 기술인 네트워크 가상화 기술에 의해 TCP/IP 기반 네트워크 연구가 아닌 새로운 프로토콜의 연구도 가능하다는 장점이 있다.

OpenFlow의 기능 중 하나는 플로우별로 트래픽 경로를 직접 지정할 수 있다는 점이다. 또한 네트워크 가상화를 지원하여 연구자의 의도에 따라 네트워크를 형성하여 테스트를 할 수 있다. 그러므로 연구자는 연구하고자 하는 구조와 서비스에 따라 물리적인 네트워크의 한계에서 벗어나 OpenFlow 기술을 이용하여 네트워크를 나누어 원하는 위상을 만들어 사용할 수 있다.

OpenFlow 스위치는 플로우 테이블, secure channel, OpenFlow protocol로 구성되어 있다. 컨트롤러는 OpenFlow 프로토콜을 이용하여 OpenFlow 스위치와 통신하며 이때 SSL을 이용하여 보안 문제를 해결한다. OpenFlow는 기본적으로 플로우 단위로 트래픽을 처리하지만 특정 패킷에 대해서는 스위치에서 컨트롤러로 패킷의 처리를 위임하는 기능도 가지고 있다.

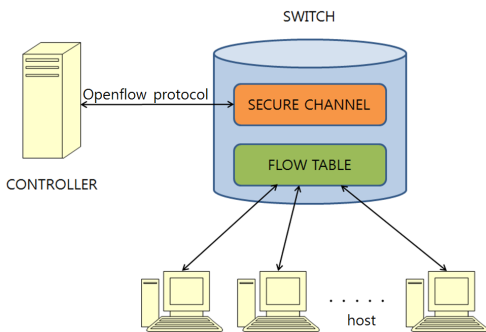


그림 1. Open Flow 프로토콜을 이용한 스위치와 컨트롤러의 통신

forwarder들을 제어하는 컨트롤러는 프로그래밍 된 플로우 테이블을 forwarder들에게 전송할 수 있기 때문에 다양한 네트워크 실험을 할 수 있다는 장점이 있다. 컨트롤러는 secure channel을 통해 OpenFlow 스위치

와 명령어나 패킷들을 교환한다. secure channel을 통해 플로우 테이블을 받은 OpenFlow 스위치는 패킷들을 플로우 테이블에 따라 전송한다.

OpenFlow 스위치는 10가지 규칙(rule)과 4가지 동작(action)을 가지고 있다. 4가지 동작은 해당 플로우를 가지고 있는 플로우 테이블에 의해 특정 포트로 포워딩하거나 컨트롤러에 전송하여 처리를 위탁하거나 해당 플로우를 Drop 시키거나 일반적인 처리를 하는 것이다. 이 기능은 기존의 TCP/IP 기반에서 불가능한 실험을 가능하게 한다. 플로우 테이블은 OpenFlow 컨트롤러가 생성하여 스위치에게 전송한다.

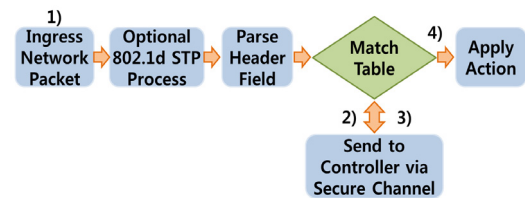


그림 2. OpenFlow 스위치의 패킷 처리 프로세스

[그림 2]에서 OpenFlow 스위치에서의 4가지 동작 중 두 번째 패킷 처리 프로세스를 볼 수 있다. 1) 스위치에 새로운 패킷이 들어오면, 이미 가지고 있는 플로우 테이블에 조회하여 처리하고 없을 경우, 2) 컨트롤러에 패킷의 정보를 전송한다. 컨트롤러는 전체 네트워크의 토폴로지를 인식하고 있기 때문에 이 패킷을 어떻게 처리할지를 결정한다. 3) 이 결정된 경로를 해당 스위치에 플로우 테이블로 전송하고, 컨트롤러는 해당 첫 패킷을 다시 스위치에 전송한다. 4) 스위치는 플로우 테이블을 참조해서 플로우 단위의 전송이 이루어지고 다음 플로우부터는 컨트롤러를 경유하지 않고 패킷을 전송한다 [8].

III. 다중 경로 알고리즘 구현

본 논문에서는 두 가지 시나리오로 실험하고 그 결과를 비교한다. 첫 번째 시나리오는 가운데대역폭이 많은 단일경로에서 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽이 전

송되는 것이다. 이 시나리오는 기본적인 SPF 알고리즘을 적용했으며 가용대역폭이 가장 많은 경로를 선택한다. 두 번째 시나리오는 가용대역폭이 많은 경로와 다른 경로를 이용하여 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽을 서로 다른 경로를 이용하여 전송하는 것이다. 비탄력적 트래픽은 2.5Mbps이상의 대역폭을 요구하기 때문에 대역폭이 가장 많은 경로를 선택하여 전송하고 탄력적 트래픽은 비탄력적 트래픽보다 우선순위가 낮아서 낮은 대역폭의 다른 경로를 선택하게 한다.

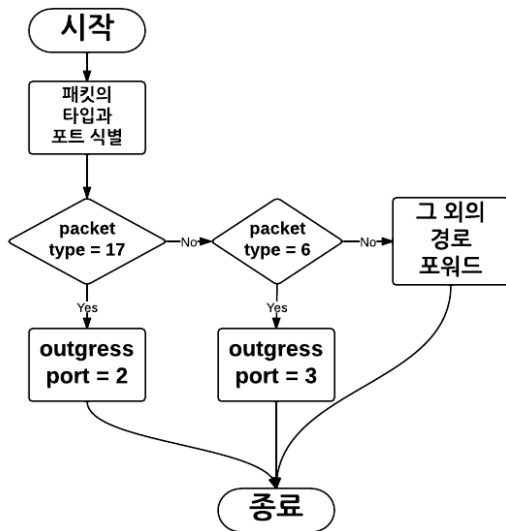


그림 3. 다중 경로를 위한 트래픽 식별 흐름도

[그림 3]은 다중 경로를 구현하기 위해 스위치에서 수행되는 기능의 순서도이다. 패킷이 스위치로 들어오면 패킷의 타입과 ingress포트를 식별한다. 타입이 17이면 비탄력적 트래픽으로 간주하고 egress포트를 2로 지정한다. 타입이 6인 트래픽이 들어오면 탄력적 트래픽으로 간주하고 egress포트는 3으로 지정한다.

[그림 4]는 OpenFlow를 이용한 네트워크를 구성한 것이다. 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽은 HOST1에서 HOST2로 전송된다. 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 OSPF의 경우 수식 1과 같이 기본적으로 대역폭을 기준으로 비용을 계산하고 SPF 알고리즘을 적용하여 최적의 경로를 만든다[3][9][10].

$$Metric = \frac{100Mbit}{Bandwidth} \quad (1)$$

또한 IGRP, EIGRP들은 대역폭, 지연, 로드, 신뢰성, 최대전송단위(MTU) 등 여러 가지 기준을 조합하여 계산한 비용이 가장 낮은 경로를 만든다. 이와 같은 방법의 최적의 경로는 대역폭이 큰 경로(A-B-C)가 된다. 하지만 두 가지 트래픽이 모두 이 경로로 흐른다면 탄력적 트래픽의 전송시간이 늦어질 수 있고 비탄력적 트래픽의 지연의 증가와 같은 부정적인 영향을 받을 수 있다. 그래서 우리는 사용되지 않고 있는 경로(A-C)를 함께 사용하여 두 종류의 트래픽들의 요구조건의 만족도를 최대화하는 방법을 제안한다.

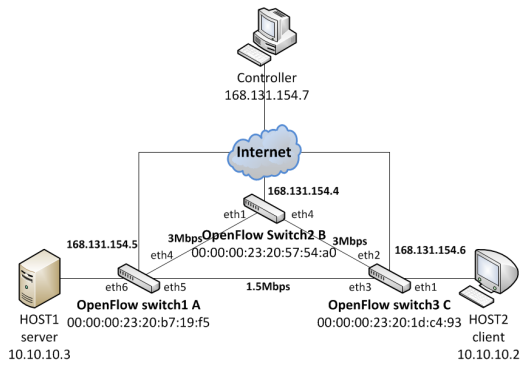


그림 4. OpenFlow를 이용한 다중 경로 실험 네트워크 구성

IV. 실험 및 평가

IV.1. 실험환경

본 논문에서는 다음과 같은 토폴로지에서 실험을 하였다. HOST1은 MAC OS X, HOST2는 WINDOWS 7의 운영체제가 설치되어 있고 HOST1이 서버이고 HOST2를 클라이언트로 설정하였다. 스위치는 4GB 메모리와 Core2 Duo E7200 2.53GHz의 CPU로 구성된 컴퓨터 사양을 갖추고 있고 우분투 10.10 운영체제가 설치되어 있으며 OpenFlow switch 1.1.0 소프트웨어가 설치되어 있다. 탄력적 트래픽은 5MB, 10MB, 20MB

텍스트 파일을 FTP방식으로 전송하고 비탄력적 트래픽은 MPEG-1 비디오 코덱과 MPEG Audio코덱을 가진 비디오 영상을 이용하였다. 앞으로 HOST1-switch1 A - switch2 B - switch3 C - HOST2의 경로를 D 경로로 정하고 HOST1-switch1 A - switch3 C - HOST2의 경로를 E 경로로 정하였다.

IV.2. 실험 및 평가

시나리오1은 대역폭을 기준으로 라우팅 테이블을 만드는 알고리즘을 이용하였다. [그림 4]에서의 네트워크 구성은 switch1 A - switch2 B 링크의 대역폭이 3Mbps이고 switch2 B - switch3 C의 대역폭이 3Mbps이기 때문에 대역폭이 높은 경로인 D경로로 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽이 함께 전송된다. 시나리오2는 비탄력적 트래픽이 3Mbps의 평균 링크 대역폭을 가진 D경로로 전송되고 탄력적 트래픽은 평균 링크 대역폭이 1.5Mbps인 E경로로 전송된다.

표 3. 탄력적 트래픽의 시나리오 별 전송시간

구분	탄력적 트래픽만 전송	시나리오1	시나리오2
경로의 평균 대역폭	3Mbps		1.5Mbps
5MB 파일	42초	115초	95초
10MB 파일	87초	210초	122초
20MB 파일	100초	318초	194초

실험결과 [표 3]은 탄력적 트래픽의 파일크기별 전송 시간을 나타낸 것이다. 시나리오1의 경우 탄력적 트래픽의 전송시간이 D 경로로 탄력적 트래픽만 전송하였을 경우의 전송시간보다 2.5배 이상 길어진 것으로 나타났다고 시나리오2의 경우 탄력적 트래픽의 전송시간이 시나리오1의 경우보다 20%이상 짧아진 것을 알 수 있었다.

[표 4]는 비탄력적 트래픽의 패킷 손실률, 지연, 지터를 시나리오 별로 실험한 결과이다. D와 E경로를 이용하여 비탄력적 트래픽과 탄력적 트래픽을 분리하여 전송하였을 경우 패킷 손실률은 0.2%이었고 지연은 0.00739ms, 평균 지터는 7.6259ms로 원활한 비디오 스트리밍 서비스가 가능하였다.

표 4. 비탄력적 트래픽의 시나리오 별 실험결과

구분	비탄력적 트래픽만 전송	시나리오1	시나리오2
경로의 평균 대역폭	3Mbps		
패킷손실률(%) (손실 패킷 수(개))	0.7 (148)	25.4 (6403)	0.2 (53)
지연(ms)	0.00739	0.00921	0.00739
평균지터(ms) /최대지터(ms)	7.9596 /41.46	14.7414 /135.68	7.6259 /59.12
전송된 패킷 수(개)	22000	20626	23433

반면 D경로로 탄력적 트래픽과 비탄력적 트래픽을 모두 전송하는 시나리오1의 경우 패킷 손실률이 25.4%로 시나리오2의 경우보다 100배가 넘는 결과를 보였고 평균 지터 또한 2배가 넘는 결과값을 나타내었다. [그림 5]는 시나리오1과 시나리오2의 지터를 측정 한 것이고 [그림 6]은 계통표집을 사용하여 지터를 비교하였다.

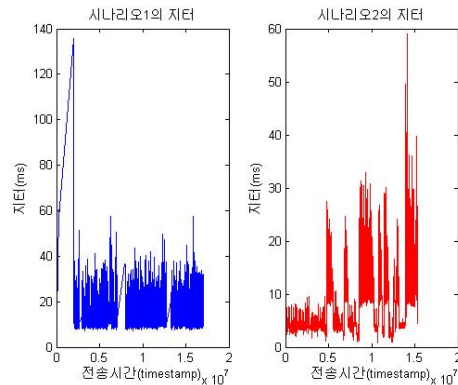


그림 5. 시나리오1과 시나리오2의 트래픽 전송 중 지터 변화

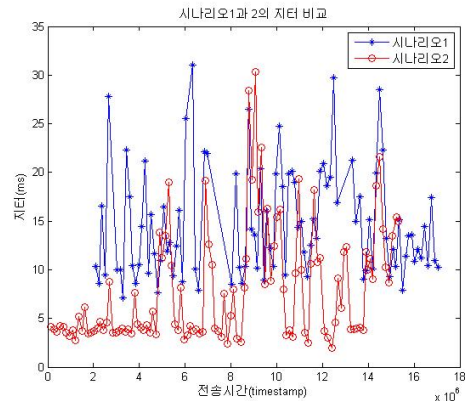


그림 6. 시나리오1과 시나리오2의 지터 비교

계통 표집은 모집단 목록에서 구성요소에 대해 일정한 순서에 따라 매 k번째 요소를 표본으로 추출하는 방법이다. [그림 6]에서는 매 200번째 요소를 표본으로 추출하였다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 OpenFlow를 이용하여 다중 경로를 만들어 트래픽의 요구조건에 따라 독립적인 경로를 제공하여 만족도를 향상시킬 수 있는 시스템을 구현하였다. 탄력적 트래픽은 비탄력적 트래픽과 경로를 공유하는 것보다 각 트래픽 속성에 따른 독립적인 경로를 제공함으로써 전송시간을 20% 감소시키고 비탄력적 트래픽은 지터를 50% 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 대역폭과 함께 지연, 신뢰성, MTU(최대전송단위)등의 메트릭 요소를 복합적으로 이용하여 트래픽의 요구조건 만족도를 향상시키는 연구와 비탄력적 트래픽을 비디오 스트리밍 서비스와 VoIP 서비스로 분류하여 트래픽의 요구조건 만족도를 향상시키는 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] C. Dah Ming and Adrian S. W. Tam, "Network Fairness for Heterogeneous Applications," ACM SIGCOMM Asia Workshop, pp.1-10, 2005.
- [2] 문승일, 강형규, 홍충선, 이성원, "OpenFlow 기반의 네트워크에서 QoS를 보장하는 최적의 경로 생성 알고리즘", 한국 컴퓨터종합학술대회 논문집, 제39권, 제1호, pp.418-420, 2012.
- [3] J. Michael, O. Simon, S. Daniel, P. Rastin, G. Sebastian, and Phuoc Tran-Gia, "Modeling and Performance Evaluation of an OpenFlow Architecture," proc. ITC 2011 23rd International Teletraffic Congress, pp.1-7, 2011.
- [4] C. Seyhan, P. Murat, A. Murat Tekalp, G. Burak, K. Bulent, and Evren Onem, "A QoS-enabled OpenFlow environment for

Scalable Video streaming," proc. IEEE GLOBECOM Workshops(GC Wkshps), pp.351-356, 2010(12).

- [5] C. Agnieszka, C. R Robert, and Agata Krempa, "An Analysis of Elastic and Inelastic Traffic in Shared Link," proc. Human System Interaction, pp.873-989, 2008(5).
- [6] <http://tools.ietf.org/html/rfc3448>
- [7] 서무권, 허지완, *OpenFlow 기반의 미래인터넷 테스트베드*, 융복합수리과학연구부 미래인터넷 연구팀, 2010.
- [8] M. Nick, A. Tom, B. Hari, P. Guru, P. Larry, R. Jennifer, S. Scott, and Jonathan Turner, "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," ACM SIGCOMM Computer Communication, Vol.38, No.2, pp.69-74, 2008(4).
- [9] 최성용, 김진수, 정경용, 한승진, 최준혁, 임기욱, 이정현, "다중 홉 센서 네트워크에서 신뢰성과 에너지 효율성을 고려한 동적 단일경로 설정기법", 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제9호, pp.31-40, 2009.
- [10] 조강홍, "QoS 라우팅의 LSU 알고리즘 성능 향상 기법", 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제3호, pp.49-57, 2009.
- [11] 최현아, 송복섭, 김정호, "실시간 트래픽 전송을 위한 RTP/RTCP의 TFRC 흐름제어 기법", 한국콘텐츠학회논문지, 제8권, 제8호, pp.57-64, 2008.

저 자 소 개

염 재 근(Jae-Keun Yeom)

준회원



- 2011년 8월 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부(학사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과(석사과정)
<관심분야> : 네트워크 관리, 센서 네트워크

이 창 무(Chang-Moo Lee)

준회원



- 2008년 2월 : 광주대학교 정보통신학과(학사)
 - 2011년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과(석사과정)
- <관심분야> : 유무선 네트워크 관리, Sensor Network, 상황인식

송 왕 철(Wang-Cheol Song)

종신회원



- 1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
 - 1991년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 - 1995년 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 - 1996년 ~ 현재 : 제주대학교 컴퓨터공학과(교수)
- <관심분야> : 망관리, 모바일 애드혹 네트워크 등

최 덕 재(Deok-Jai Choi)

정회원



- 1982년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1984년 2월 : KAIST 전산학과(공학석사)
- 1993년 ~ 1995년 : University of Missouri-Kansas City

Computer Science and Telecommunication Program(공학박사)

- 1996년 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과(교수)
- <관심분야> : 상황인식, Pervasive Computing, Sensor Network, Future Internet, IPv6

허 지 완(Jee-Wan Huh)

정회원



- 2005년 2월 : 제주대학교 컴퓨터공학과(석사)
- 2010년 2월 : 제주대학교 컴퓨터공학과(박사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 국가수리과학연구소 미래인터넷연구팀

<관심분야> : 미래인터넷, 자연계 영감 네트워크, 정책 기반 네트워크

석 승 준(Seung-Jun Seok)

정회원



- 1997년 2월 : 건국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

- 2004년 3월 ~ 현재 : 경남대학교 컴퓨터공학부(부교수)
- <관심분야> : 무선인터넷 프로토콜, 미래 인터넷, USN 프로토콜 etc.