

5G 모바일 컨버전스 광액세스망을 위한 SDN 기반 실시간 Latency 측정 및 관리 방안

오정 열*, 유연 철*, 김 광 옥*, 두경 환*, 이 한 협*, 정 환 석*

SDN Based Real-Time Latency Measurements and Managements for 5G Mobile Convergence Optical Access Networks

Jung-Yeol Oh*, Yeon-Chel Ryoo*, Kwang-Ok Kim*, Kyeong-Hwan Doo*, Han-Hyub Lee*,
Hwan-Seok Chung*

요 약

본 연구는 PON 기반 모바일 컨버전스 광액세스에서 모바일 네트워크의 엄격한 Latency 요구사항을 만족하기 위하여 서비스 클래스별 실시간 지연 측정 방안을 제안한다. SDN 제어 기술에 실시간 지연 측정 기술을 적용하여 Latency 측정, 동적 네트워크 자원관리 그리고 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어기능을 구현한다. SDN 기반 Latency 측정 및 관리 기술은 장치 운용중에 실시간 Latency 및 지터 상태를 측정 및 모니터링하고 이를 기반으로 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어를 통해 Latency를 관리할 수 있다.

Key Words : PON, Latency, Optical Access Networks, SDN

ABSTRACT

In this study, we propose a real-time latency measurement scheme to meet the stringent latency requirements for the mobile networks in the PON based mobile convergence access networks. And we implement the latency measurement, dynamic network resources managements and ports/packets based service classes controls by applying the optical access SDN control technology. SDN-based latency measurement and management technologies can measure and monitor real-time latency and jitter status during network operation, and manage the latency through ports/packets based service classes controls.

1. 서 론

모바일 가입자 수의 급격한 증가는 다양한 대역폭 집약적인 서비스 수요를 충족시키기 위해 더 많은 무선 기지국을 필요로 한다. 무선 네트워크 밀도는 셀 크기를 줄임으로써 더 많은 커버리지, 더 적은 송신

전력 소비, 주파수 재사용 및 결과적으로 시스템 용량 향상을 가져온다. 5G 이동 통신 네트워크는 엄청난 수의 무선 액세스 포인트가 고밀도로 배치되는 초고 밀도 셀룰라 네트워크가 될 것으로 예상된다. 이러한 5G 무선 액세스 포인트를 효율적으로 수용하기 위한 고정/모바일 컨버전스 광액세스 네트워크의 중요성이

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술 연구진흥센터의 정보통신 방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0132-16-1004, SDN 기반 유무선 액세스 통합 광네트워킹 기술]

• First Author : 한국전자통신연구원 (ETRI), 통신미디어연구소, 네트워크연구본부, jyoh@etri.re.kr, 정희원

* 한국전자통신연구원 (ETRI), 통신미디어연구소, 네트워크연구본부, dbduscjf@etri.re.kr; kwangok@etri.re.kr, 정희원; khdo@etri.re.kr, 정희원; hanhyub@etri.re.kr; chung@etri.re.kr

논문번호 : 201911-259-B-RN, Received October 28, 2019; Revised December 10, 2019; Accepted December 10, 2019

커지고 있다.^[1]

이러한 모바일 네트워크를 지원하고 진화하는 복잡성을 효율적으로 관리하기 위해 MNO (Mobile Network Operator)와 장비 공급 업체는 성능 최적화 및 비용면에서 유리한 클라우드 무선 액세스 네트워크 (C-RAN : Cloud Radio Access Network)에 관심을 기울였다. C-RAN은 시스템 복잡성을 줄이며 확장성, 유연성 및 비용 효율적인 아키텍처로 TCO (Total Cost of Ownership)를 최소화한다.

PON (Passive Optical Network) 아키텍처는 C-RAN 구조의 모바일 네트워크와 광 액세스 네트워크를 경제적으로 통합하기 위한 최적의 솔루션이다. PON을 위한 두가지 주요 광 액세스 기술은 TDM (Time Division Multiplexing)과 WDM (Wavelength Division Multiplexing)이다.

TDM-PON은 점 대 다중 점 분배망(P2MP : Point to Multi-Point)을 통해 OLT(Optical Line Terminal)와 다수의 ONU (Optical Network Unit)가 연결되어 가장 경제적인 솔루션이며, WDM-PON은 여러 파장의 광신호를 한 가닥의 광섬유에 전송하는 방식으로 새롭게 인프라를 구축하지 않고 기존 포설된 인프라를 이용하여 전송용량을 크게 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 최근 차세대 PON 규격에서는 전송용량을 증가하기 위해 이 두가지 방식을 혼합한 Hybrid 구조인 WDM/ TDM-PON 구조를 채택하고 있다. 국제 표준 기구인 ITU-T는 WDM/TDM-PON 방식으로 하향 4 x 10Gb/s, 상향 4 x 2.5Gb/s 표준을 완료하였다.^{[2][3]} IEEE는 WDM/TDM-PON 방식으로 최대 50Gb/s의 전송용량을 지원하는 25G/50G EPON 표준화를 진행 중이다.^[4]

그림 1은 모바일 네트워크를 수용하는 모바일 컨버전스 광액세스 네트워크 구조를 보인다. 5G 모바일 기지국 아키텍처는 다양한 기능 분할 (Function Split) 구조를 제시한다. 3GPP에서는 8가지 기능 분할 구조

를 정의하였고 업계에서 많은 논의가 이 8가지 옵션을 기반으로 이루어지고 있다. 5G RAN (Radio Access Network)의 주요 기능 블록으로 중앙 장치 (CU : Central Unit)와 분산 장치(DU : Distributed Unit) 그리고 무선 장치 (RU : Radio Unit)로 구성된 3단 구조이다. 기능 분할 지점에 따라 세 가지 기능 블록이 모두 분리되어 배치될 수도 있고 CU와 DU가 같은 위치에 배치되거나 RU와 DU가 같은 위치에 배치될 수 있다. PON은 하나의 피더 광섬유를 통해 하나의 OLT (Optical Line Terminal)가 여러 개의 ONU (Optical Network Unit)에 의해 공유될 수 있어서 여러 형태로 모바일 네트워크와 융합할 수 있다.^[5]

DU와 RU간의 광 링크는 모바일 프론트홀 (Fronthaul) 이며, Latency에 민감한 네트워크이다. 이러한 TDM-PON 기반 광액세스 네트워크를 모바일 프론트홀에 적용하기 위해서는 상향 스트림의 대역폭 관리 및 모바일 네트워크의 Latency 관리가 중요하다. 왜냐하면, PON의 하향 스트림 데이터는 브로드캐스트 (Broadcast) 되기 때문에 Latency가 크지 않지만 상향 스트림 데이터는 시분할 다중 액세스 (TDM : Time Division Access) 방식으로 상향 스트림 데이터 패킷은 스케줄링 되어 서로 다중화되기 때문에 Latency의 변동 폭이 상대적으로 커진다. 이러한 TDM 기반 PON에서 상향 스트림 대역폭을 효율적으로 공유하고 관리하기 위해 DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) 방식을 사용하는데 이러한 DBA 동작으로 인하여 TDM-PON 시스템의 상향 스트림의 Latency가 1ms 이상 발생하게 된다. 반면에 5G 네트워크의 URLLC (Ultra Reliable Low Latency Case) 서비스의 경우 총 Latency 허용치가 1ms 이하로 유지해야 하는 엄격한 Latency 요구사항을 갖기 때문에 현재의 TDM-PON 규격으로 MFH (Mobile Front-Haul) 의 상향 링크 Latency 요구사항을 충족하기 어려운 실정이다. 결과적으로 TDM-PON을 MFH에 적용하기 위해서는 5G 서비스를 위한 Latency 관리가 매우 중요하고 Latency 관리를 위해서는 먼저 정확한 Latency를 측정하고 이 결과를 토대로 Latency 요구사항을 만족하도록 대역폭 및 QoS을 제어하여 서비스 품질을 유지해야 한다. 그러나 현재 PON 기술에는 Latency를 측정하는 방법이 없으며 이를 Latency를 관리하는 방법 또한 부재한 상황이다.^[6]

광액세스 SDN (Software Defined Network) 제어 기술은 전통적인 네트워크 장치에서 하드웨어 기능과 소프트웨어 기능을 분리하고 네트워크의 지능을 SDN 컨트롤러에 집중시켜 네트워크를 소프트웨어로 프로

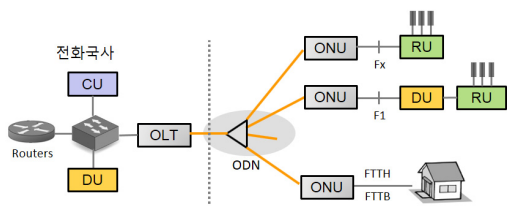


그림 1. C-RAN 기반 모바일 컨버전스 광액세스 네트워크 구조
Fig. 1. C-RAN based Mobile Convergence Optical Access Architecture

그림하고 추상적인 새로운 서비스를 제공하여 기존의 정적 구조를 갖는 네트워크에서 제공하지 못하던 네트워크의 유연성, 효율성, 가용성, 경제성을 향상하는 기술이다.

본 연구에서 50 Gb/s (2x25Gb/s) WDM/TDM PON 기반 광액세스 네트워크 시스템을 개발하였고 모바일 컨버전스 광액세스 네트워크의 엄격한 Latency 요구사항을 제공하기 위하여 광액세스 SDN 제어 기술을 통하여 Latency 측정, 동적 네트워크 자원관리, QoS 관리 및 유연한 트래픽 제어기능을 구현하였다. 모바일 서비스를 제공하는 ONU에 대하여 서비스 클래스별로 상향 스트림에 대한 Latency 요구사항을 만족하는지 판별하기 위한 실시간 Latency 측정 기술을 제안하고 이를 SDN 제어 기술에 적용하여 관리 기술을 구현하였다. 구현된 Latency 측정 기술은 SDN 제어 기술에 적용되어 장치 운용 중에 실시간 Latency 및 지터 상태를 모니터링하며, 이를 기반으로 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어를 통해 대역폭 및 Latency를 관리할 수 있다.

II. 본 론

2.1 광액세스 SDN 제어 구조

그림 2는 광액세스망을 위한 SDN 제어 구조를 보인다. 먼저 PON 애플리케이션 계층은 REST 기반의 NB(North-Bound)-API를 이용하여 토폴로지 관리, 네

트워크 설정 및 제어, 트래픽 및 Latency 측정 및 모니터링 기능을 지원한다. 그림 3에 토폴로지 및 트래픽 모니터링에 대한 예를 보인다.

다음으로 광액세스 SDN 컨트롤러 계층은 PON 데이터 모델 기능, MD-SAL (Model Driven Service Abstraction Layer) 기능, PON manager 기능, Netconf Plugin 기능 블록으로 구성된다. PON 데이터 모델링은 표 1과 같이 50G WDM/TDM-PON 시스템을 위한 Topology, Inventory, Service, 그리고 OLT 및 ONU 관리 및 제어를 위한 PON YANG 데이터 모델링을 제공한다. PON Manager 기능 블록은 MD-SAL을 이용하여 YANG 데이터 모델을 통해 관리정보를 조회, 설정, 변경, 알람 기능을 수행하고 Netconf Plugin으로부터 들어오는 메시지를 적응 (Adaptation) 하는 기능을 수행한다.

SBI(South-Bound Interface)는 컨트롤러와 OLT 에이전트를 연결하는 인터페이스로 CLI 및 NetConf/YANG을 통한 접속 가능하도록 구현하였다. YANG 데이터 모델에 Netconf RPC (Remote Procedure Call) 를 추가하면 SBI 연동을 위한 자동 API를 생성하며 이를 이용하여 PON 장치의 인터페이스에 정합되는 SB Plugin을 개발할 수 있도록 구현하였다.

다음으로 OLT 에이전트는 OLT 및 ONU를 설정하고 관리하며 주기적으로 상태를 수집하여 컨트롤러에 데이터를 전달하는 역할을 담당한다. OLT 에이전

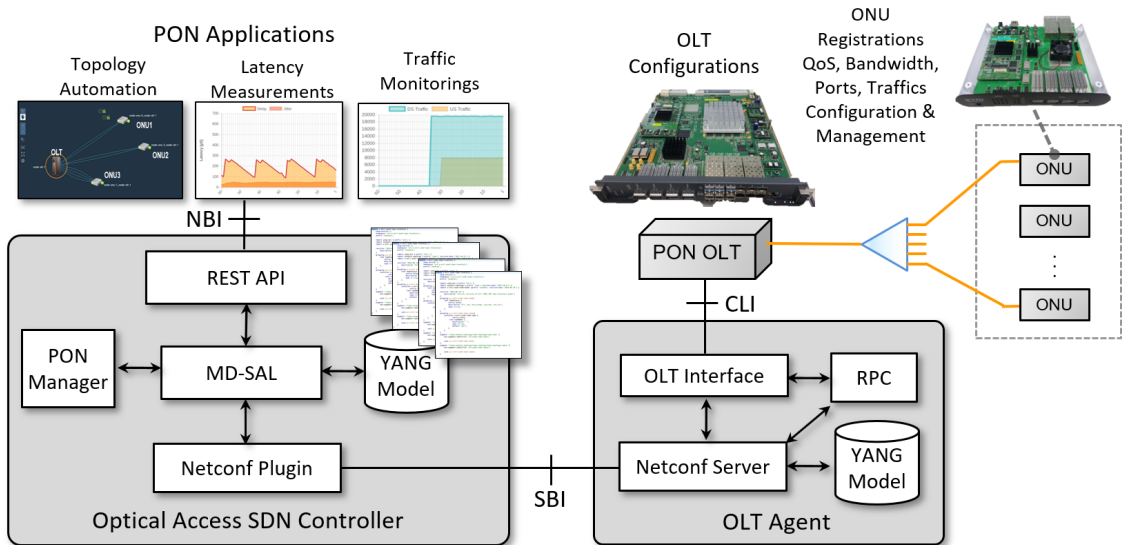
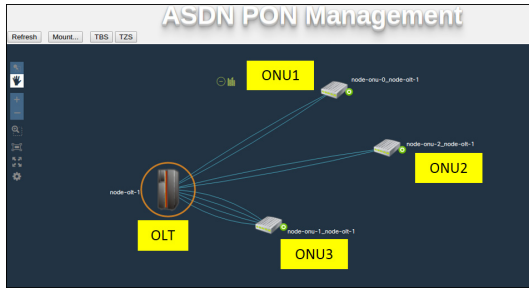
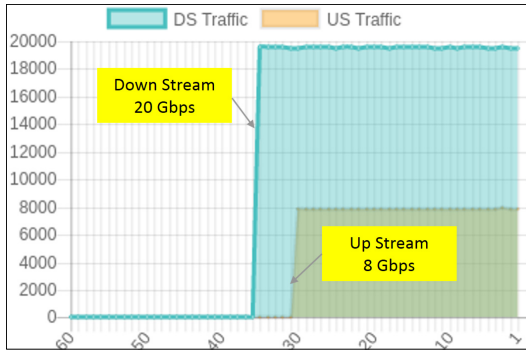


그림 2. 모바일 컨버전스 광액세스 SDN 제어 구조
Fig. 2. Mobile Convergence Optical Access SDN Control Architecture



(a) 토폴로지 관리 화면



(b) 트래픽 모니터링 캡처 화면

그림 3. 토폴로지 및 트래픽 모니터링 GUI 화면 예제
Fig. 3. GUI examples for topology and traffic monitoring

표 1. PON YANG 데이터 모델링 분류
Table 1. Classifications of PON YANG data models

Case	분류	항목
NB	Topology	Topology configurations, Link status, DS/US status, Nodes, etc
	Inventory	Node details, Ports, Link details, Wavelength, Traffics, CoS, SLA, etc
	Service	ONU Attachment, Latency, Service Classes control, Traffic balancing, VLAN etc
SB	PON	OLT/ONU Hierarchical Properties

트는 구현 위치에 따라 OLT에 직접 이식되는 분리형 타입 에이전트와 원격지 서버에 구축하고 여러 OLT를 통합 관리하는 통합형 타입 에이전트를 구현하였다.

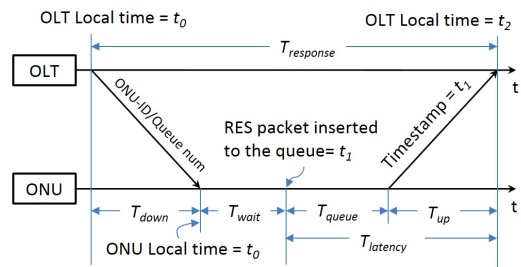
2.2 PON 상향 스트림 Latency

서론에서 언급한 바와 같이 TDM 기반 PON에서 OLT에서 ONU로 향하는 하향 스트림은 브로드캐스트 방식이며, 반대로 ONU에서 OLT로 향하는 상향 스트림은 여러 ONU들 간의 전송 패킷의 충돌을 피하고자 TDM 방식을 사용한다. 따라서 하향 스트림 전송은 Latency는 크지 않지만, 상향 스트림 전송은

ONU의 수 및 트래픽 크기에 비례하여 Latency가 크게 증가한다.

PON에서 상향 스트림 Latency란 ONU에 패킷이 입력된 시점에서부터 OLT를 통해 코어망으로 출력될 때까지의 패킷 전송에 따른 소요시간을 의미한다. PON 상향 스트림의 Latency는 다음과 같은 요인으로 결정된다. ONU에서 패킷 처리에 따른 처리 지연 (Processing Delay), 패킷의 모든 비트를 전송하는 데 소요되는 전송 지연 (Transmission Delay), 패킷이 전송하기 위해 큐에 대기하고 있는 큐잉 지연 (Queuing Delay), 광선로를 통하여 신호가 OLT 까지 도달하는데 소요되는 전파 지연 (Propagation Delay)이 발생한다. 이때 일반적으로 처리 지연, 전송 지연은 일정한 값을 가지며, 및 전파 지연은 광선로의 길이에 비례하며 큐잉 지연은 ONU의 개수 및 채널의 트래픽 크기에 따라 전송 매체가 사용 중이면 사용 가능할 때까지 기다리는 시간이 추가되어 전체 트래픽 변화에 따라 변화폭이 크다.

종래에는 이러한 Latency을 측정하기 위해서 패킷 생성 및 분석기를 이용하였으나 이러한 방법은 실제 운용되고 있는 네트워크에 사용이 어렵고 일시적인 측정 결과만 가지고 실제 운용되는 전체 네트워크의 Latency를 예측하기가 어려운 단점이 있다. 본 논문에서 제안하는 Latency 측정 방법은 네트워크를 실제 운용중에 실시간 Latency 상태를 측정하고 이를 모니터링할 수 있기 때문에 실제 운용되는 상황에 따라 Latency 관리할 수 있는 장점이 있다.



- T_{down} = 하향 스트림 전파 지연
- T_{up} = 상향 스트림 전파 지연
- T_{wait} = ONU에서 패킷 처리 시간
- $T_{response}$ = OLT에서 요청에 대한 응답 시간
- T_{queue} = ONU 서비스 클래스 큐잉 시간

그림 4. 제안하는 상향 스트림 Latency 측정 구조
Fig. 4. Proposed Latency Measurement Mechanism

2.3 상향 스트림 Latency 측정 방안

2.3.1 Latency 측정 알고리즘

PON에서 네트워크를 TDM으로 동작하기 위해서는 모든 ONU는 OLT와 시간 동기화되어야 한다. 이와 같이 OLT와 ONU가 시간 동기를 획득하기 위해 ONU는 등록시에 RTT (Round Trip Time)를 측정한다. RTT 측정 프로세스가 완료되면 ONU는 OLT에 등록과정을 통하여 상향 스트림을 통해 데이터를 전송할 수 있게 된다. 제안하는 상향 스트림 Latency 측정 방안은 ONU가 등록된 후 그림 4의 과정을 통해 기능을 수행할 수 있다.

ONU는 OLT와 등록과정을 완료하면 OLT와의 이격 거리로 인한 시간차 (T_{down})를 유지하며 시간 동기를 획득한다. OLT는 먼저 LM (Latency Measurement)을 위한 LM 요청 패킷을 보낸다. 요청 메시지는 특정 ONU의 ID 및 서비스 클래스 큐 (Queue) 번호 정보를 포함한다. 해당 ONU는 LM 요청 패킷을 식별하여 자신의 ID인 경우 해당 서비스 큐 번호를 확인하고 요청하는 해당 서비스 큐에 LM 응답 패킷을 삽입한다. 이때 서비스 큐에 입력되는 ONU 시각을 패킷내 timestamp 영역에 기록한다. LM 응답 패킷은 서비스 큐에 버퍼링 된후 해당 ONU에 대한 상향 스트림을 위한 대역이 할당되면 광선로를 거쳐 OLT에 전달된다. OLT에 LM 응답패킷이 수신되면 OLT는 수식 1과 같이 패킷이 수신된 시각(t_2)과 ONU에서의 큐 입력 시간 (t_1) 및 RTT에 의하여 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_{latency} &= T_{queue} + T_{up} \\
 &= T_{reponse} + T_{wait} - T_{down} \\
 &= (t_2 - t_1) - (t_1 - t_0) - RTT/2 \\
 &= t_2 - t_1 - RTT/2
 \end{aligned} \tag{1}$$

2.3.2 SDN 기반 Latency 모니터링

그림 5는 SDN 제어 환경을 통해 실시간 Latency을 측정하고 모니터링하기 위한 절차 다이어그램을 보인다. GUI에서 LM 요청 명령이 컨트롤러에 전달되면 LM 요청 RPC 메시지를 OLT 에이전트에 전달하고 에이전트는 해당 메시지에 대한 RPC-reply로 응답하며 동시에 OLT 장치에 주기적인 LM 요청을 위한 LM 요청 프로세스를 시작한다. LM 프로세스가 시작되면 OLT가 해당 ONU에 LM 요청을 위한 OAM (Operations Administration and Management) 메시지를 전송한다. 해당 OAM 메시지를 수신한 ONU는

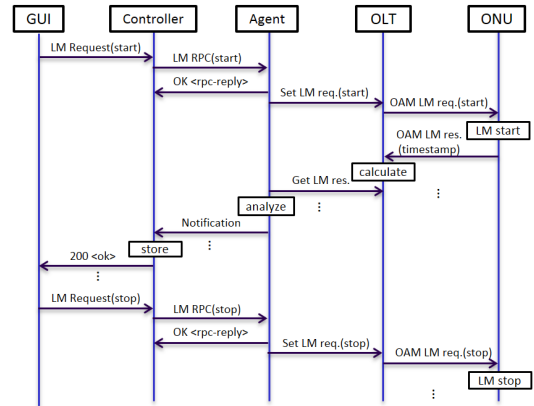


그림 5. 지연 측정 및 모니터링 절차 다이어그램
Fig. 5. Sequence Chart for Latency Measurement and Monitoring

해당 OAM 메시지가 LM 측정을 위한 메시지인지 판별한 뒤 LM 요청 메시지에 기재된 해당 주기에 따라 t_1 시점을 기록한 timestamp를 포함하는 LM 응답 메시지를 주기적으로 생성하고 LM 요청 메시지에 기재된 서비스 클래스에 측정 패킷을 데이터와 다중화한다.

OLT는 해당 LM 응답 메시지가 ONU로부터 수신되면 응답 패킷내 t_1 을 확인하고 수신한 시각(t_2)과 RTT를 이용하여 차이를 계산한다. 에이전트 역시 LM 응답 메시지를 읽어 올 수 있는 GET 메시지를 주기적으로 OLT에 전송하여 LM 결과를 가져와서 계산 방법에 따라 평균 Latency, 지터, 최대 Latency 순위 데이터를 생성한 후 컨트롤러에 Notification 메시지를 전달하여 새로운 LM 측정 데이터가 수신되었음을 알린다. 컨트롤러는 Notification 메시지의 데이터를 저장소에 저장하고 순차적으로 데이터를 읽어와 GUI를 통해 실시간 측정결과를 그래프에 표현한다. LM 요청 중단 명령도 요청 명령과 동일한 방법을 통해 OLT까지 전달되면 OLT는 LM 요청 프로세스를 중단하는 OAM 메시지를 ONU에 전송하고 ONU는 LM 응답 메시지 생성을 중단한다.

2.4 서비스 클래스 Latency 제어

상향 스트림의 Latency 측정 성능을 통해 서비스 품질을 확인한 후 이에 관한 결과를 기반으로 모바일 네트워크를 위한 Latency 품질을 제어할 필요가 있다. 그림 6은 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어 동작을 보인다.

포트 기반 서비스 클래스 제어의 경우 UNI (User Network Interface) 포트를 상향 서비스 클래스에 매

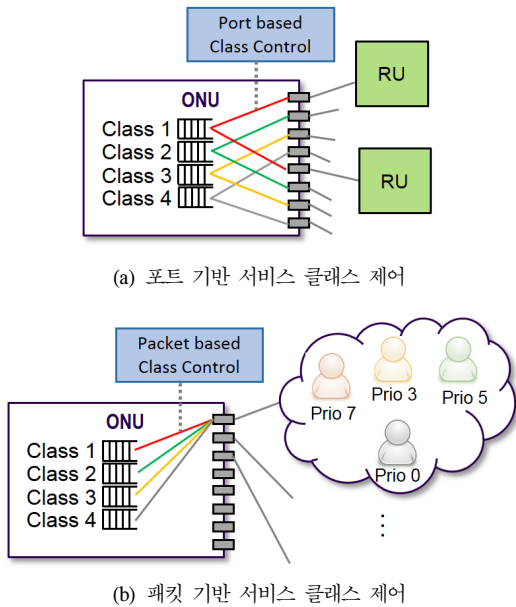


그림 6. 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어
Fig. 6. Ports and Packets based Service Classes Control

핑하는 룰 테이블 기능을 제공한다. 포트별로 우선순위를 제공하고 우선순위가 높은 포트에 대해서는 저지연을 보장하는 서비스 클래스에 매핑할 수 있다. 예를 들어 그림 6(a)와 같이 모바일 네트워크를 1번과 5번 포트에 연결하고 일정한 대역폭과 Latency를 보장해주는 고정대역할당 (SBA : Static Bandwidth Allocation) 와 같은 서비스 클래스에 매핑할 수 있다. 이처럼 포트 기반 서비스 클래스 제어는 특정 포트에 대한 특정 대역폭 및 Latency를 보장해주고자 할 때 유용하다. 그림 6(b)와 같은 패킷 기반 서비스 클래스 제어는 인터넷 패킷의 CoS (Class of Service) 또는 ToS (Type of Service) 필드의 우선순위에 따라 상향 서비스 클래스에 매핑하는 룰을 제공한다. 그림 7은 입력되는 인터넷 프레임에 대한 CoS 및 ToS 우선 순위 서비스 필드를 보인다. 입력되는 패킷이 VLAN 기능을 사용하는 경우에는 CoS 3비트 필드의 우선순위를 사용할 수 있으며 VLAN 기능을 사용하지 않는 경

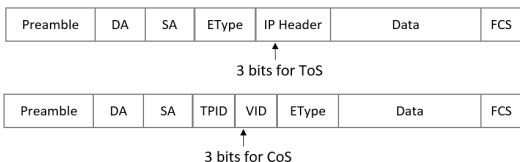


그림 7. 인터넷 프레임의 CoS 및 ToS 우선순위 필드
Fig. 7. CoS and ToS fields within Ethernet frame

우에는 IP 헤더의 Precedence ToS의 3비트 필드를 우선순위로 사용할 수 있다.

III. 실험

본 연구에서는 모바일 컨버전스 광액세스 시스템을 위한 IEEE 802.3ca 표준 기반 50G/20G EPON (Ethernet PON) 시스템을 구현하고 광액세스 SDN 제어 플랫폼을 구현하였다.^{[7][8]} SDN 제어 영역에서 PON 상향 스트림에 대한 서비스 클래스별 Latency를 측정하고 모니터링 하였으며 실시간 Latency 상태를 측정 분석하였다. 그림 8은 Latency 실험을 위한 셋업 환경을 보인다. OLT와 ONU의 입 출력 포트를 10GbE 인터페이스를 통해 패킷 생성 및 분석기 (Spirent N4U)를 연결하였다. SDN 제어 플랫폼의 애플리케이션은 각 서비스 클래스를 위한 대역폭을 설정하며 서비스 클래스별 실시간 Latency를 측정하고 모니터링하는 기능을 수행한다.

ONU는 상향 스트림을 위해 4개의 서비스 클래스 (Gold, Silver, Bronze, Best effort)를 설정하였다. 그림 9는 Gold 및 Silver 서비스 클래스의 실시간 Latency 측정 결과를 보인다. 두 서비스 클래스 모두 최대 가용 트래픽을 전송하며 패킷 Latency 모니터링 측정 주기는 1 sec로 설정하였다. 측정된 결과는 일정한 패킷 사이즈 및 일정한 측정 주기로 패킷을 전송하였을 때 주기적인 톱니파 형태로 측정되는 것을 확인할 수 있다. 그림 9(a)는 Gold 서비스 클래스 측정 결과이며 평균 패킷 Latency 측정 결과는 68.51 us 이다. 패킷 분석기에서 측정된 평균 패킷 Latency 측정 결과는 70.75 us 이다. 그림 9(b)는 Silver 서비스 클래스 측정 결과이며 평균 패킷 Latency 측정 결과는

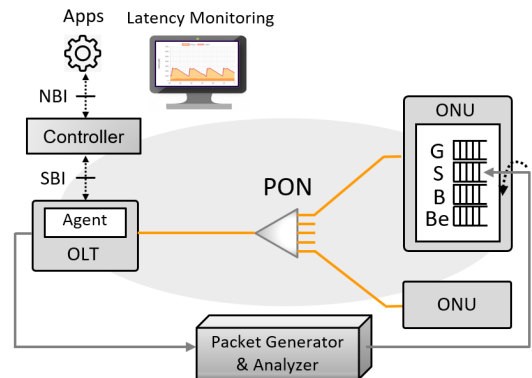


그림 8. SDN 제어 상향 스트림 Latency 실험 셋업 환경
Fig. 8. Experiments setup of real-time SDN Controlled Up-stream Latency

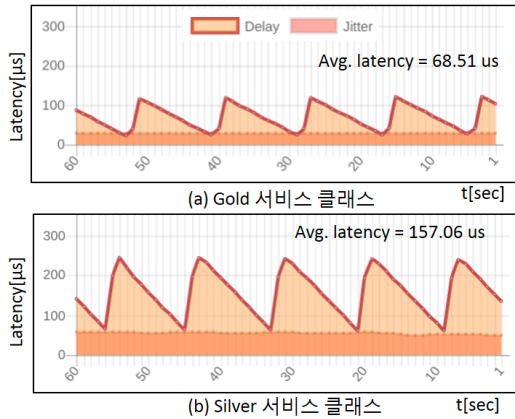


그림 9. 실시간 Latency 측정 및 모니터링
Fig. 9. Real-time Latency Measurement and Monitoring

157.05 us 이다. 패킷 분석기에서 측정된 평균 패킷 Latency 측정 결과는 159.31 us 이다. 측정된 결과를 비교하였을 때 패킷 분석기의 측정 결과가 약 2.25 us 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 패킷 생성 및 분석기에서 생성된 패킷을 ONU로 전송하고 OLT로부터 패킷을 수신하는 과정으로 인해 입출력 포트에서 발생하는 패킷 처리지연시간이다.

그림 10은 서로 다른 우선순위 비트(PB : Priority Bit)를 갖는 패킷을 인가하고 네트워크에 인가된 부하에 대한 Latency의 변화를 보인다. 초기 서비스 클래스 설정에 따라 PB7와 PB6 패킷은 Gold 서비스 클래스로 할당되고 PB3 패킷은 Bronze 서비스 클래스, PB1은 BE 서비스 클래스에 할당된다. 그러나 전체 트래픽의 6Gbps(60%)에 이르면 Gold 서비스 클래스에 최대 보장 대역에 근접하게 되면서 Latency가 기준치 이상 증가하고 패킷 손실이 발생할 수 있는 상황에 이른다. 이때 PB6 패킷을 Gold 서비스 클래스에서 Silver 서비스 클래스로 제어를 수행한다. 이후 PB6

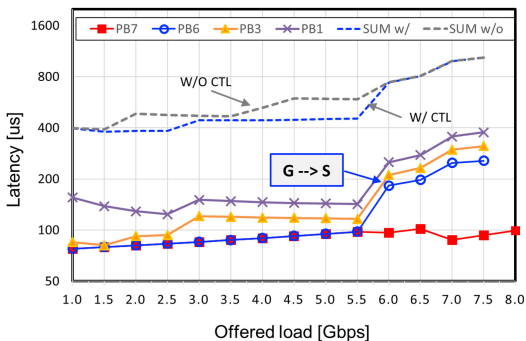


그림 10. 다양한 패킷에 대한 서비스 클래스 제어 시험
Fig. 10. Service Classes Control Test for Various Packets

패킷에 대한 Latency는 증가하게 되지만 Gold 서비스 클래스는 전체 트래픽이 증가하는 조건에서도 패킷 손실 없이 요구하는 Latency를 유지할 수 있으며 또한 PB6 패킷 관점에서 인가된 부하가 전체 트래픽의 60%까지 Gold 서비스 클래스의 QoS를 공급받기 때문에 전체 네트워크의 Latency 효율 관점에서 보면 서비스 클래스 제어가 없는 조건 (W/O CTL)보다 서비스 클래스 제어를 수행한 조건 (W/ CTL)이 약 15% Latency 관점에서 효율을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 50G/20G WDM/TDM PON 기반 광액세스 네트워크 시스템을 기반으로 하는 모바일 컨버전스 광액세스 네트워크의 엄격한 Latency 요구 사항을 제공하기 위하여 광액세스 SDN 제어 기술을 통하여 동적 네트워크 자원관리, Latency 관리 그리고 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어기능을 구현하였다. 모바일 서비스를 제공하는 ONU에 대하여 서비스 클래스별로 상향 스트림에 대한 Latency 요구사항을 만족하는지를 판별하기 위한 실시간 Latency 측정 방안을 제안하고 이를 SDN 제어 기술에 적용하여 Latency 측정 및 관리 기술을 구현하였다.

구현된 Latency 측정 기술은 SDN 제어 기술에 적용되어 장치 운용 중에 실시간 Latency 및 지터 상태를 모니터링하고 이를 기반으로 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스 제어를 통해 대역폭 및 Latency를 관리할 수 있다. Latency 측정 결과를 패킷 생성 및 분석기를 사용한 결과와 비교하였을 때 입출력 포트의 패킷 처리로 인한 처리시간을 제외하고 서로 일치하는 결과를 얻었다. 또한, Latency 측정 결과를 바탕으로 SDN 기반 포트 및 패킷 기반 서비스 클래스를 제어를 수행할 수 있으며, 다양한 우선순위 패킷을 갖는 네트워크 실험에서 인가된 네트워크 부하에 따라 Gold 서비스 클래스의 Latency가 크게 증가하는 상황에서 서비스 클래스 제어를 통하여 Gold 서비스 클래스의 Latency를 관리할 수 있으며, 전체 네트워크의 Latency 효율을 높일 수 있었다.

References

[1] I. A. Alimi, A. L. Teixeira, and P. P. Monteriro, "Toward an efficient C-RAN Optical fronthaul for the future networks: A tutorial on technologies, requirements, challenges, and

solutions,” *IEEE Commun. S&T*, vol. 20, no. 1, pp. 708-769, 2018.

- [2] “40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification,” ITU-T G.989.2, 2016.
- [3] “40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission convergence layer specification,” ITU-T G.989.3, 2015.
- [4] “Physical layer specifications and management parameters for 25 Gb/s, 50 Gb/s, and 100 Gb/s passive optical networks,” IEEE P802.3ca 100G-EPON Task Force, 2015.
- [5] ITU-T Q2/SG15, “ITU-T PON standards-progress and recent activities,” *Optical Fiber Communication (OFC) 2018*, 2018.
- [6] F. Dominique “Requirements of 5G Radio Networks on Optical X-haul Transport,” *OFC 2019*, 2019.
- [7] H. H. Lee, et al., “Experimental demonstration of 50 Gb/s (2 × 25 Gb/s) TDM/WDM PON over 64-way power split using O-band up/down transmission over 20 km with dynamic bandwidth allocation and SDN control,” *Optics Express*, vol. 26, no. 19, pp. 25120-25128, Sep. 2018.
- [8] J.-Y. Oh, et al., “SDN based latency measurement scheme for mobile convergence optical access networks,” in *Proc. KICS Summer Conf.*, pp. 224-225, 2019.

오 정 열 (Jung-Yeol Oh)



1997년 2월 : 동신대학교 정보통신공학과 학사
 1999년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
 2005년 8월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
 2005년 10월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 광액세스 SDN/NFV 기술, 유무선 통신모뎀 기술, IoT 칩셋 기술

[ORCID:0000-0002-5404-0687]

유 연 철 (Yeon-Cheol Ryoo)



2009년 7월 : 청화대학교 컴퓨터공학과 학사
 2012년 1월 : 청화대학교 컴퓨터공학과 석사
 2012년 9월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
 <관심분야> 컴퓨터 공학, 통신

공학, 광통신 공학

김 광 옥 (Kwang-Ok Kim)



2001년 2월 : 전남대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 2014년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 공학박사
 2001년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 가입자망 전송기술, 유무선 백홀 기술

두 경 환 (Kyeong-Hwan Doo)



1996년 2월 : 전북대학교 전자공학과 학사
 1998년 2월 : 전북대학교 전자공학과 석사
 2013년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 박사
 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 광액세스 기술, 차세대 PON MAC, 유무선 광통신

이 한 협 (Han-Hyub Lee)



1999년 2월 : 충남대학교 물리학 졸업
2001년 2월 : 충남대학교 물리학과 석사
2005년 8월 : 충남대학교 물리학과 박사
2007년 6월 : AT&T Lab-research 박사 후 연수과정

2007년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 광통신, 광액세스 네트워크

정 환 석 (Hwan-Seok Chung)



2003년 8월 : KAIST 전기전자공학화 박사
2004년 3월~2005년 6월 : KDDI R&D Labs Research Engineer
2005년 7월~현재 : ETRI 책임연구원, 실장, PL

<관심분야> 모바일 프론트홀/백홀, 유무선 광액세스, 액세스망 가상화/추상화/슬라이싱