

LR-PON에서 고정형 다중 스레드 기반의 동적대역할당

최수일* · 김진술
전남대학교 전자컴퓨터공학부

Fixed Multi-Thread Polling based Dynamic Bandwidth Allocation in Long-Reach PON

Su-il Choi* · Jinsul Kim

School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

[요 약]

LR-PON은 수동형 광가입자망 기술을 사용하여 서비스 영역이 100 km 이상 확장된 광대역 가입자망이다. 서비스 영역이 확장된 LR-PON의 경우 OLT와 ONU들간 전송 지연시간이 큰 폭으로 증가하는 문제점으로 인해 효과적인 상향 대역할당에 어려움이 있다. 본 논문에서는 LR-PON망에서 동적인 상향 대역 할당을 효과적이며 공정하게 하기 위해서, 고정형 폴링 주기를 갖는 다중 스레드 기반의 새로운 동적대역할당 방안을 제안한다. 제시한 동적대역할당 방안의 우수성을 입증하기 위하여 상향 트래픽의 평균 지연시간을 기존의 DBA 방안들과 비교하였다. 특히, CoS 특성 분석을 위하여 다양한 트래픽 로드별로 지연 특성을 분석하였다.

[Abstract]

Long-Reach PON (LR-PON) is a broadband access network using passive optical network (PON) technology which the reach is extended to 100 km or higher. A major challenge in LR-PON is that the propagation delay between OLT and ONUs is increased by a very significant amount. To effectively and fairly distribute the upstream bandwidth dynamically in LR-PON, we propose a new periodic and multi-thread polling based dynamic bandwidth allocation (DBA) algorithm. We compare the proposed algorithm with traditional DBAs and show its advantage on average packet delay. Numerical results are analyzed under varying offered loads.

색인어 : 광대역 가입자망, 서비스 등급, 동적 대역 할당, 장거리 전송 수동형 광가입자망, 멀티 스레드 폴링

Key word : Broadband Access Network, Class of Service, Dynamic Bandwidth Allocation, Long-Reach PON, Multi-Thread Polling

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.6.1207>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 21 September 2017; **Revised** 10 October 2017
Accepted 25 October 2017

***Corresponding Author; Su-il Choi**

Tel: +82-62-530-1792

E-mail: sichoi@jnu.ac.kr

1. 서론

이더넷 수동형 광가입자망(EPON: Ethernet Passive Optical Network)은 광대역 서비스를 제공하는 기술로서 경제적인 가입자망이다. EPON은 중앙국사에 위치하는 OLT (Optical Line Terminal)와 원격에 위치한 다수의 ONU (Optical Network Unit)가 점대 다중점 구조로 구성되어있다. 최근 들어, 광증폭기와 같은 소자를 사용하여 OLT와 ONU간 거리가 최대 20 km에서 100 km로 연장되었으며, 이와같이 OLT와 ONU간 서비스 범위가 확장된 가입자망을 LR-PON (Long Reach-PON)이라 지칭한다[1].

서비스 범위가 확장된 LR-PON은 가입자망 장치와 메트로망 장치를 통합시킬 수 있으며, 네트워크 구성요소, 접속 장치의 개수 및 망 노도의 개수를 줄임으로서 가입자망의 구성을 단순하게 만들어준다. 그림 1은 링과 지선(Ring-and-Spur) 구조의 LR-PON의 예를 보여준다[2]. LR-PON에서의 트래픽 전송은 EPON과 마찬가지로 OLT와 ONU간 이루어진다. 하향 전송의 경우, 이더넷 프레임은 OLT에 의해 브로드캐스트 방식으로 전송되며, 해당 ONU가 선별적으로 수신한다. 반면에 상향 전송의 경우, 시분할 다중접속(TDMA; Time Division Multiple Access) 방식을 통해 개별 ONU에 할당된 타임 슬롯(Time Slot) 동안 개별 ONU로부터 OLT로 전송된다. 그러므로 LR-PON은 하향으로 점대다중점(P2MP; point-to-multipoint)망으로 동작하고, 상향으로 점대점(P2P; point-to-point)망으로 동작한다. EPON망 구조에서 통계적 다중화를 구현하기 위하여 IEEE 802.3ah 표준에서 다중점 제어 프로토콜(MPCP; multi-point control protocol)을 제정하였다[3,4].

다중점 제어 프로토콜은 효과적인 데이터 전송을 위하여 OLT와 ONU간 제어 메시지를 정의한다. MPCP는 GATE와 REPORT라는 이더넷 제어 메시지를 사용하여 개별 ONU에게

상향 대역을 할당한다. REPORT 메시지는 ONU에서 OLT로 전송되며 다음에 필요한 타임슬롯(timeslot)의 크기를 요청한다. 모든 ONU로부터 REPORT 메시지를 수신한 후, OLT는 동적대역할당(DBA; dynamic bandwidth allocation)을 수행하고 GATE 제어 메시지를 이용하여 개별 ONU에게 상향 대역을 할당한다. EPON망에서 차별화된 서비스를 제공하기 위한 다양한 DBA 방안들이 제시되었다[5-9]. 그렇지만 기존의 DBA 방안들은 LR-PON망에서는 만족스럽지 못한 성능을 제공한다. 이는 LR-PON망의 OLT와 ONU간 거리를 20 km에서 100 km로 확장하였으며, 거리 확장에 의해 패킷의 왕복시간(RTT; round-trip time)이 1 ms로 증가되었기 때문이다. LR-PON망에서 상향 트래픽 전송을 위한 동적대역할당을 위하여 멀티 스투드 기반의 DBA 방안들이 제시되었다[2,10-12].

본 논문에서는 LR-PON망에서 차별화된 서비스 제공을 위한 멀티 스투드 기반의 새로운 동적대역할당 방안을 제안한다. 주기적 폴링 기반의 DBA 방안을 멀티 스투드 형태로 확장함으로써 LR-PON에서 큰 폭으로 증가된 패킷 지연시간의 문제점을 해결하고, 상향 트래픽의 평균 지연시간 성능이 우수한 동적대역할당 방안을 제시한다. 더불어, 세 가지 등급의 트래픽별로 차별화된 서비스를 제공하는 방안을 제시코자 한다.

본 논문의 II장에서는 멀티 스투드 기반의 동적대역할당 방안을 소개하고, 주기적 폴링 기반의 멀티 스투드형 대역할당 방안을 제안한다. III장에서는 제안한 동적대역할당 방안의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. LR-PON 동적대역할당

2-1 단일 스투드 폴링과 멀티 스투드 폴링

LR-PON에서 개별 ONU에게 상향 대역을 할당하기 위해서는 GATE와 REPORT라는 두 개의 제어 메시지가 사용된다. 그림 2는 단일 스투드 기반의 폴링 방법을 보인다. 모든 ONU는 주어진 타임슬롯동안 상향 데이터와 새로운 REPORT 메시지를 OLT에 전송한다. OLT는 DBA 알고리즘을 수행하고 새로운 GATE 메시지를 통해 상향 대역을 ONU별로 할당한다. 이때 RTT만큼의 유휴시간(Idle Time)이 낭비된다. EPON의 경우 OLT와 ONU간 거리가 10 km라면 RTT가 0.1 ms가 되어 유휴시간은 무시해도 될 정도이다. 반면에 LR-PON의 경우 유휴시간이 1 ms가 되어 폴링주기가 2 ms인 경우 전체 상향 대역의 50% 정도를 낭비하게 된다.

그림 3은 제안된 고정형 멀티 스투드 폴링 방법을 보인다. 멀티 스투드 폴링을 통해 LR-PON의 유휴시간(Idle Time) 문제를 해결할 수 있다. 하지만 기존의 방안은 스투드별 가변적인 폴링 주기를 가지고 있으므로 OLT와 ONU간 거리에 영향을 받는 문제점이 있다[2]. 반면에 제안된 고정형 멀티 스투드 폴링 방법은 LR-PON의 RTT에 독립적인 대역할당을 제공할 수 있다.

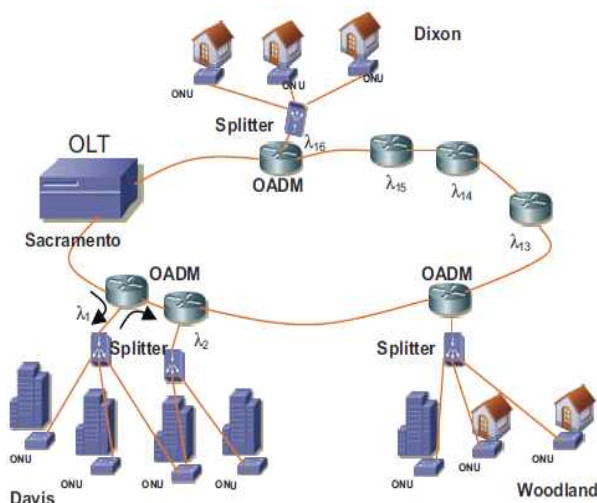


그림 1. 링과 지선구조의 LR-PON
Fig. 1 LR-PON with ring-and-spur structure

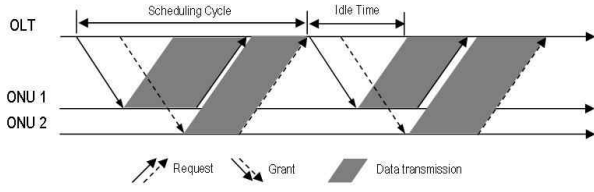


그림 2. 단일 스레드 폴링
Fig. 2 Single-thread polling

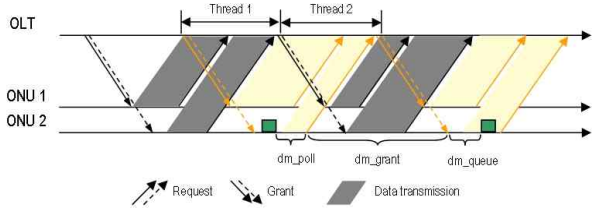


그림 3. 고정형 멀티 스레드 폴링
Fig. 3 Fixed Multi-thread polling

그림 3의 ONU2에 패킷이 전달된 경우를 가정하면, 멀티 스레드 폴링을 통한 패킷의 지연시간은 다음과 같이 정의된다.

$$d_m = d_{m_poll} + d_{m_grant} + d_{m_queue} \quad (1)$$

여기에서 d_{m_poll} 은 패킷이 도착한 후 REPORT 메시지의 전송까지 걸린 시간, d_{m_grant} 은 REPORT 메시지 전송 후 GATE 메시지 수신까지 걸린 시간, d_{m_queue} 은 GATE 메시지 수신 후 패킷 전송까지 걸린 시간을 의미한다.

2-2 멀티 스레드 기반 동적대역할당 알고리즘

우선 차별화된 서비스의 제공을 위하여 서비스를 세 가지 우선순위 그룹으로 분류하여 EF(expedited forwarding) 그룹, AF(assured forwarding) 그룹, 그리고 BE(best effort) 그룹으로 나눈다. 그리고, N 은 ONU의 개수, J 는 한 주기내의 스레드 개수, $R_{i,n}$ 는 i 번 ONU의 n 번째 스레드에서 요구하는 상향대역, $B_{i,n}$ 은 i 번 ONU의 n 번째 스레드에 할당된 상향대역, T_{cycle} 은 스레드의 폴링 주기를 지칭한다.

모든 ONU가 공유할 전체 상향 대역의 크기인 B_{tot} 는 다음과 같이 결정된다.

$$B_{tot} = (T_{cycle} - N \times T_g) \times C \quad (2)$$

여기에서 T_g 는 가드타임(guard time), C 는 OLT의 링크 용량에 해당된다.

첫 번째로 개별 ONU의 EF와 AF 트래픽을 위한 대역할당을 우선 수행한다. OLT에 의해서 i 번 ONU의 n 번째 스레드에 할당되는 상향 대역의 크기 $B_{i,n}$ 은 다음과 같다.

$$B_{i,n} = \min(R_{i,n}^{EF} + R_{i,n}^{AF}, B_{i,min}) \quad (3)$$

여기에서 $R_{i,n}^{EF}$ 는 i 번 ONU의 n 번째 스레드의 EF 등급의 대역 요구량, $R_{i,n}^{AF}$ 는 i 번 ONU의 n 번째 스레드의 AF 등급의 대역 요구량, $B_{i,min}$ 은 i 번 ONU의 EF와 AF 트래픽 등급을 위해 보장된 최소 상향 대역에 해당된다.

모든 ONU의 EF와 AF 트래픽 등급에 대역을 할당한 후 남은 여유 대역 B_{excess} 를 계산하면 다음과 같다.

$$B_{excess} = B_{tot} - \sum_{i=1}^N B_{i,n} \quad (4)$$

다음으로 여유 대역의 할당을 ONU별로 수행한다. 우선, EF와 AF 그룹의 요구대역을 전부 할당받지 못한 ONU의 미 할당 대역은 ONU의 BE 그룹의 요구 대역에 추가된다. 여유 대역 B_{excess} 는 ONU별 BE 트래픽 등급을 위해 다음과 같이 i 번 ONU의 n 번째 스레드에 추가로 할당된다.

$$B_{i,n} = B_{i,n} + B_{excess} \times R_{i,n}^{BE} / \sum_{i=1}^N R_{i,n}^{BE} \quad (5)$$

여기에서 $R_{i,n}^{BE}$ 는 i 번 ONU의 n 번째 스레드의 BE 등급의 대역 요구량에 해당된다.

III. 시뮬레이션

LR-PON 시스템용으로 제안된 주기적 폴링기반의 멀티 스레드형 DBA 알고리즘의 성능을 보이기 위하여 한 개의 OLT와 16개의 ONU로 이루어진 LR-PON 가입자망 모델에서 시뮬레이션을 진행하였다. OLT와 개별 ONU 사이의 거리는 100 km로 동일하다. OLT와 ONU간 링크 속도는 1 Gb/s이며 ONU와 가입자간 링크 속도는 100 Mb/s이다. 기존의 단일 스레드형 동적대역할당 방법의 최대 폴링 주기는 2 ms이며, 가드 타임(guard time)은 1 μ s이다. 멀티 스레드의 개수는 2개로 정하

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameter

| Parameter | Value |
|-------------------------------------|---------------------|
| Number of ONUs | 16 |
| Class of service | 3 |
| Line rate of the ONU link | 100 Mbit/s |
| EPON line rate | 1 Gbit/s |
| Distance between the OLT and an ONU | 100 km |
| Guard Time | 1 μ s |
| Network Traffic | Pareto distribution |
| Polling time (T_{cycle}) | 2 ms |
| Number of multi-thread | 2 |

였다. 표 1에서는 시뮬레이션에 사용된 기본 시스템 파라미터를 정리하였다.

그림 4는 LR-PON에서 단일 스레드 DBA를 적용하는 경우 OLT와 ONU간 거리별 평균 지연시간을 보여준다. 가변적인 폴링주기와 기존의 DBA 알고리즘을 적용하였다[2]. 상향 트래픽의 로드가 증가하거나 OLT와 ONU간 거리가 증가할수록 트래픽의 평균 지연시간이 증가함을 알 수 있다. 이는 LR-PON에 단일 스레드 DBA를 적용할 수 없음을 보인다.

그림 5는 LR-PON에서 가변형 폴링주기의 멀티 스레드 DBA를 적용하는 경우 상향 트래픽의 거리별 평균 지연시간을 보인다. 상향 트래픽의 로드가 증가하는 경우 평균 지연시간은 증가하고 있지만, 거리의 증가에 따른 평균 지연시간은 개선되는 현상을 보인다. 트래픽의 로드가 적은 경우(load = 0.2) 거리의 증가에 따라 트래픽의 평균 지연시간이 증가하지만 단일 스레드 DBA보다 지연시간이 짧아짐을 보인다. 반면

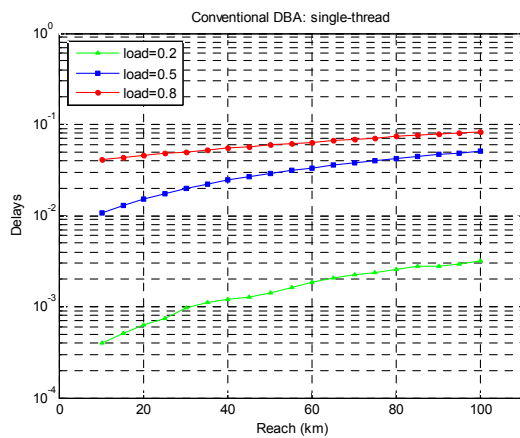


그림 4. 단일 스레드 DBA의 거리별 평균 지연시간
Fig. 4 Average delay as a function of reach of single-thread DBA schemes

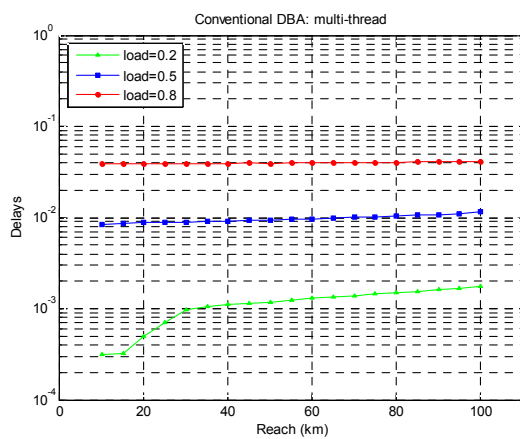


그림 5. 멀티 스레드 DBA의 거리별 평균 지연시간
Fig. 5 Average delay as a function of reach of multi-thread DBA schemes

에 트래픽의 로드가 많은 경우(load = 0.5 또는 0.8) 거리의 증가에 따른 지연시간의 증가현상은 많이 개선됨을 알 수 있다.

그림 6는 OLT와 ONU간 거리가 100 km인 LR-PON망에서 기존의 멀티 스레드형 DBA 방안과 제안한 멀티 스레드형 DBA 알고리즘 적용 시 상향 트래픽의 평균 지연시간을 비교하였다. 멀티 스레드 기반의 DBA 성능을 비교하기 위하여 스레드를 2개로 정하였다. 시뮬레이션 결과를 비교하면 단일 스레드형 DBA보다 멀티 스레드형 DBA의 트래픽 지연 특성이 우수함을 보인다. 더불어, 제안한 주기적 폴링 기반의 멀티 스레드형 DBA의 트래픽 지연 특성이 기존의 가변적 폴링 기반의 멀티 스레드형 DBA보다 우수함을 보인다.

그림 7은 제안된 주기적 폴링 기반의 멀티 스레드형 DBA 알고리즘을 적용하여 트래픽 등급별 지연특성을 보여준다. 트래픽 등급이 제일 높은 EF 트래픽 등급의 경우 상향 트래픽이

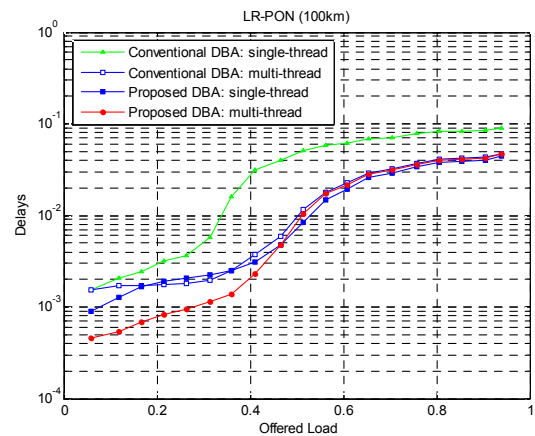


그림 6. LR-PON에서 DBA 방안별 패킷의 평균 지연
Fig. 6 Average delay of several DBA schemes in LR-PON

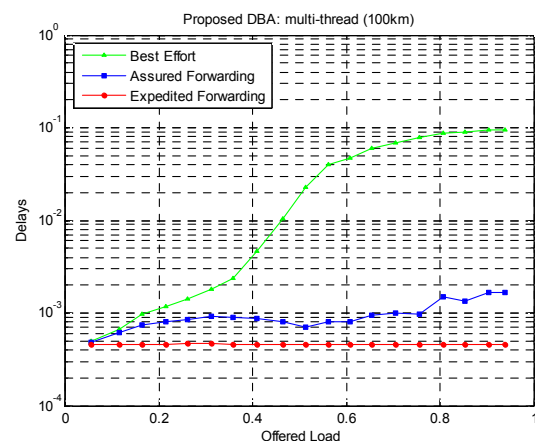


그림 7. LR-PON에서 제안된 DBA의 트래픽 등급별 평균 지연
Fig. 7 Average packet delay of a traffic classes for proposed DBA scheme in LR-PON

증가하여도 로드의 변화에 영향을 받지 않고 일정한 지연 특성을 보인다. AF 트래픽의 경우 EF 트래픽 등급보다 긴 지연 특성을 보이지만 BE 트래픽 등급보다 우수한 지연 특성을 보인다. 제안된 주기적 폴링 기반의 멀티 스투드형 DBA 알고리즘을 사용하여 차별화된 서비스 제공이 가능함을 보인다.

IV. 결론

본 논문에서는 LR-PON에서 차별화된 품질서비스 제공을 위하여 멀티 스투드 기반의 새로운 동적대역할당 방법을 제안하였다. LR-PON의 경우 OLT와 ONU간 거리의 확장으로 인하여 패킷의 왕복시간(RTT)이 증가되었으며, 이를 해결하기 위하여 주기적 폴링 기반의 멀티 스투드형 DBA 알고리즘을 제시하였다. 다양한 시뮬레이션을 통하여 제안한 DBA 알고리즘이 거리의 확장에 영향을 받지 않고 상향 트래픽의 지연 특성이 기존의 LR-PON용 DBA 방안보다 우수함을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] I. Van de Voorde, et al., "Network topologies for SuperPON," in *Proceeding of the Optical Networking and Communication Conference*, Dallas, TX, pp. 57-58, 1997.
- [2] H. Song, B.-W. Kim, and B. Mukherjee, "Multi-thread polling: a dynamic bandwidth distribution scheme in long-reach PON," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 2, pp. 134-142, Feb. 2009.
- [3] IEEE Standard 802.3ah-2004, Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for Subscriber Access Networks, Sep. 2004.
- [4] IEEE Standard 802.3av-2009, Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks, Sep. 2009.
- [5] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A dynamic protocol for an ethernet PON (EPON)," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, pp. 74-80, Feb. 2002.
- [6] C. Assi, Y. Ye, S. Dixit, and M. Ali, "Dynamic bandwidth allocation for quality-of-service over Ethernet PONs," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 21, No. 9, pp. 1467-1477, Nov. 2003.

- [7] S. I. Choi, "Cyclic polling-based dynamic bandwidth allocation scheme for differentiated services in Ethernet passive optical networks," *Photonic Network Communications*, Vol. 7, No. 1, pp. 87-96, Jan. 2004.
- [8] S. I. Choi, "An analysis of the delay and jitter performance of DBA schemes for differentiated services in EPONs," *Journal of Optical Society of Korea*, Vol. 13, No. 3, pp. 373-378, Sep. 2009.
- [9] L.-V. Ma, S. Park, J.-h. Jang, and J. Kim, "A fuzzy-based dynamic method for efficient sharing bandwidth in local physical network," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 2, pp. 411-422, 2017.
- [10] B. Skubic et al., "Dynamic bandwidth allocation for long-reach PON: overcoming performance degradation," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 11, pp. 100-108, Nov. 2010.
- [11] J. Ahmed et al., "Efficient inter-thread scheduling scheme for long-reach passive optical networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 51, No. 2, pp. S35-S43, Feb. 2013.
- [12] T. Tsang, "Dynamic bandwidth allocation scheme in LR-PON with performance modelling and analysis," *International Journal of Computer Networks & Communications*, Vol. 6, No. 2, 2014.



최수일(Su-il Choi)

1992년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1999년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1999년~2004년: 한국전자통신연구원(ETRI)
2004년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
※관심분야 : 광통신, 가시광통신, IoT 등



김진술(Jinsul Kim)

2005년 : 한국과학기술원(KAIST) (공학석사)

2008년 : 한국과학기술원(KAIST) (공학박사)

2005년~2009년: 한국전자통신연구원(ETRI)
2009년~2012년: 한국나사렛대학교
2012년~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
※관심분야 : 미래 네트워크, SDN, NFV, MEC, QoS/QoE
품질 예측 및 측정, 모바일 미디어 처리, 멀티미디어 통신, etc.