

동일한 FBG 광센서를 이용한 수동형 가입자망의 모니터링

최수일* · Nguyen Khac Binh
전남대학교 전자컴퓨터공학부

Monitoring of Passive Optical Network using Uniform FBG Optical Sensor

Su-il Choi* · Nguyen Khac Binh

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

[요 약]

수동형 광가입자망은 광대역 서비스를 제공하는 차세대 가입자망 기술이다. 수동형 가입자망은 경제성을 제공하기 위해 점대다중접 구조를 가지고 있으며, 시분할 다중화 접속 방식을 이용하여 상방향 데이터 전송을 제공한다. 본 논문에서는 수동형 가입자망에서 광섬유 브래그 격자 센서를 사용하여 OLT와 ONU간 물리계층 장애를 감시할 수 있는 방안을 제시한다. 제시한 방안은 동일한 광섬유 브래그 격자 센서를 이용함으로써 경제성과 운영의 효율성을 제공한다. 파장분할 다중화를 이용한 기존의 방안과 제안한 시분할 다중화를 이용한 방식의 효율성을 비교 분석하였다.

[Abstract]

Passive optical network (PON) is a next-generation access network that provides broadband services. PON is a cost-effective solution which has point-to-multipoint architecture and provides upstream data transmission using time-division multiple access (TDMA). We propose a monitoring method that detects physical layer faults between optical line terminal (OLT) and optical network units (ONUs) using fiber bragg grating (FBG) optical sensors. Uniform FBG sensors are used to provide cost-effective and simple solution of operation management. We compare the proposed TDMA based monitoring method with wavelength division multiplexing (WDM) monitoring method.

색인어 : 수동형 가입자망, 광섬유 브래그 격자 센서, 감시 장치, 시분할 다중화 접속, 장애 식별

Key word : Passive Optical Network, Fiber Bragg Grating Sensor, Monitoring System, Time Division Multiple Access, Fault Identification

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.3.657>



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 10 February 2019; **Revised** 05 March 2019

Accepted 20 March 2019

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

Tel: +82-62-530-1792

E-mail: sichoi@jnu.ac.kr

I. 서론

수동형 광가입자망 (PON: passive optical network)은 광대역 서비스를 제공하는 기술로서 경제적인 가입자망이다. 최근 들어 광가입자망은 비즈니스와 가정용 서비스뿐만 아니라 모바일과 IoT 서비스를 제공하는 다중 서비스 플랫폼을 제공하고 있다. PON은 중앙국사에 위치하는 OLT (optical line terminal)와 원격에 위치한 다수의 ONU (optical network unit)가 점대다중점 구조로 구성되어있다. PON은 OLT와 ONU 사이에 전력 공급이 필요 없는 수동형 광분배기를 사용하기 때문에 유지보수가 편리하다는 장점이 있다[1].

Ethernet PON (EPON)의 하향 전송의 경우, OLT는 이더넷 프레임을 브로드캐스트하고, 개별 ONU는 선택적으로 수신한다. EPON의 상향 전송의 경우, 시분할 다중접속 (TDMA: time division multiple access) 방식을 통해 개별 ONU에 할당된 타임 슬롯(time slot)동안 개별 ONU로부터 OLT로 전송된다.

개별 ONU에게 상향 대역을 할당하는 간단한 방법은 고정 타임 슬롯을 할당하는 방법이다. 고정 대역 할당 (SBA: static bandwidth allocation) 방안은 간단한 반면, ONU들 간의 통계적 다중화에 기반을 둔 대역 할당을 제공할 수 없다. EPON망에서 통계적 다중화를 고려한 동적 대역 할당 (DBA: dynamic bandwidth allocation) 방안은 여러 알고리즘이 제시되었다[2-4].

광 시간 영역 측정기 (OTDR: optical time domain reflectometer)를 사용하여 장애를 검출하는 방법은 짧은 펄스의 단일과장을 이용하기 때문에 점대점 (point-to-point) 망에 적합하다[5]. 점대다중점 (point-to-multipoint) 망에서 OTDR을 사용하는 경우 고장이 발생한 ONU를 구분해내기 어렵기 때문에 적합하지 못하다.

광 주파수 영역 측정기 (OFDR: optical frequency domain reflectometer)와 광섬유 브래그 격자 (FBG: fiber bragg grating) 센서를 사용하여 광섬유를 모니터링 하는 방안은 각각의 FBG로부터 되돌아오는 브래그 파장 (Bragg wavelength)를 분석함으로써 PON 망을 감시한다[6]. 그러나 이 방법은 장애가 발생한 ONU를 구분할 수 있지만, 장애의 위치를 측정하지 못한다.

과장분할 다중화 방식과 광섬유 브래그 격자(FBG) 센서를

사용하여 ONU 시스템의 장애를 측정하는 방법이 제시되었다 [7]. OLT는 초발광 다이오드 (SLED: super luminescent LED)를 사용하여 모든 ONU에 광원을 제공하는 역할을 수행하고, 개별 ONU에 위치한 FBG는 ONU별로 할당된 브래그 파장을 반사함으로써 장애가 발생한 ONU를 구별할 수 있다. 특정 ONU의 광섬유에 장애가 발생한 경우 OTDR을 사용하여 장애의 발생 위치를 구할 수 있다.

본 논문에서는 동일한 브래그 파장을 갖는 FBG를 사용하여 유지보수 및 운용관리가 용이한 PON 시스템의 감시 장치 구성 방안을 제시코자 한다. ONU별로 할당된 타임 슬롯 구간에 맞춰 FBG 반사 파장을 OLT로 전송함으로써 시분할 다중접속 데이터 전송과 시분할 다중접속 감시신호 전송을 동시에 구현할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 FBG 광섬유 센서를 활용하여 PON 시스템의 모니터링 방안을 소개한다. 동일한 반사파장을 갖는 FBG 센서를 사용하여 시분할 다중화 방식으로 ONU별 광섬유 장애 여부를 감시하는 방법을 제안한다. III장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 PON 모니터링 시스템의 특성을 분석한다. 기존의 과장분할 다중화 방식보다 유지 보수 및 운용관리 측면에서 유리함을 보인다. 마지막으로, IV장에서 결론을 맺는다.

II. FBG 센서기반 PON 모니터링

2-1 FBG 광센서

광섬유 브래그 격자 (FBG) 센서는 주로 구조물의 변위와 온도를 측정하는데 사용된다. 그림 1은 FBG 광센서의 동작을 보여준다. 광대역의 빛이 FBG에 전송되면 특정 파장의 빛만 FBG 센서로부터 되돌아온다. 반사된 빛의 중심 파장을 브래그 파장이라고 부른다.

$$\lambda_B = 2n\Lambda \tag{1}$$

여기에서 λ_B 는 브래그 파장, n 은 광섬유 코어의 유효 굴절률, Λ 는 격자 간격을 의미한다.

FBG 광섬유 센서는 온도나 변위에 따라 브래그 파장이 선형적으로 변하는 특성을 이용하여 온도 및 변위 측정 시스템을 제공한다. 반면에, 브래그 파장의 수신 여부를 활용하여 광통신망의 장애 유무를 판별하는 용도로 활용되기도 한다.

2-2 동일한 FBG 센서기반 PON 모니터링

일반적으로 시분할 다중화 FBG 시스템의 경우 하나의 광섬유에 동일한 FBG 센서를 일정한 간격으로 배치하는 방법을 사용한다. 점대 다중점 구조의 PON 시스템에서는 과장분할

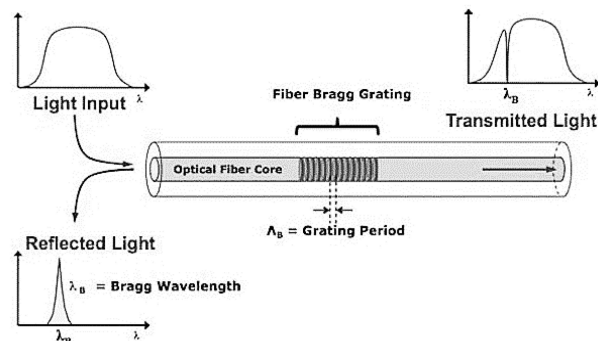


그림 1. 광섬유 브래그 격자 센서의 동작
Fig. 1. Operation fo FBG sensor

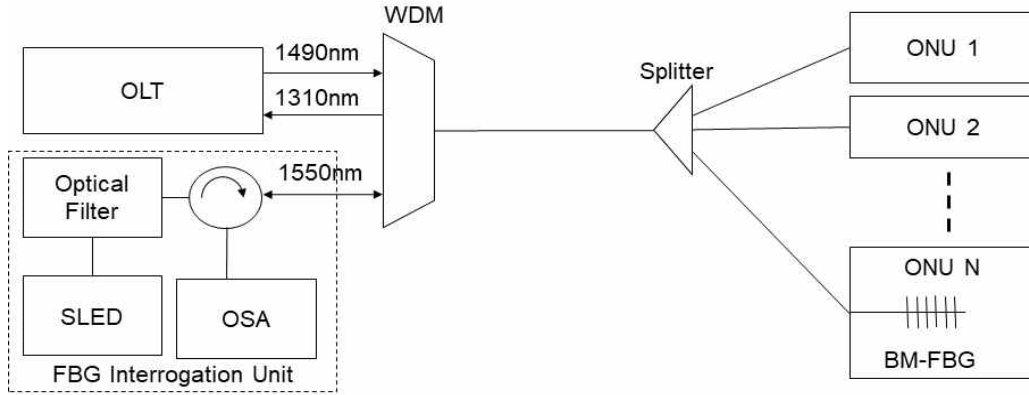


그림 2. 광섬유 브래그 격자 센서 기반 PON 모니터링 시스템
Fig. 2. FBG sensor based PON monitoring system

다중화 방식으로 FBG 센서 기반 모니터링 시스템을 구성한다 [7]. 이 경우 ONU별로 FBG의 브래그 파장은 서로 상이하다. 반면에, 동일한 브래그 파장을 갖는 FBG 센서를 사용하여 시분할 다중화 방식으로 PON 모니터링 시스템을 구성할 수 있다. 그림 2는 동일한 FBG 센서 기반 PON 모니터링 시스템을 보인다.

중앙국사에 위치한 OLT 장치는 1490 nm 파장을 사용하여 하향 데이터를 브로드캐스트 하며, 1310 nm 파장을 사용하여 개별 ONU로부터 전송된 상향 데이터를 수신한다. 중앙국사에 위치한 FBG 정보수집 장치 (FBG interrogation unit)는 초발광다이오드 (SLED)를 사용하여 FBG 센서의 광원으로 활용하고, 밴드패스 광필터를 사용하여 1550 nm 대역의 광원을 제공한다. ONU로부터 브래그 파장에 해당되는 신호가 전송되는 경우 광 순환기 (optical circulator)를 통해 광 스펙트럼 분석기 (OSA: optical spectrum analyzer)에 신호가 전달된다. 광파장 다중화기 (WDM Mux/Demux)는 데이터 통신에 사용되는 1310 nm, 1490 nm 파장과 광센서 신호 전송에 사용되는 1550 nm 파장에 대한 다중화 및 역다중화 기능을 수행한다.

원격에 위치한 ONU 장치는 광분배 장치를 통해 전달된 1490 nm의 파장을 통해 하향 데이터를 선택적으로 수신하고, 1310 nm 파장을 사용하여 상향 데이터를 송신한다. 이 경우 시분할 다중접속 (TDMA) 방식을 통해 ONU별로 할당된 타임

슬롯 (time slot) 동안만 데이터를 상향 전송한다. 이 방식을 버스트 모드 전송방식이라 부른다. 중앙국사에 위치한 FBG 정보수집 장치로부터 전송된 1550 nm 광원을 수신하면, 각각의 ONU내에 위치한 동일한 브래그 파장을 갖는 광섬유 브래그 격자 (FBG)는 OLT로부터 할당된 특정 타임 슬롯 동안 브래그 파장을 전송한다. 이러한 버스트 모드 광신호 전송방식을 적용함으로써 동일한 브래그 파장을 갖는 FBG 센서를 활용하여 PON 시스템에서 시분할 다중접속 방식의 모니터링 기능을 구현할 수 있다. 그리고 ONU내에서도 광파장 다중화기를 통해 상하향 파장에 대한 다중화 및 역다중화 기능을 수행한다.

그림 3은 버스트 모드 FBG 센서 모듈의 구조를 보여준다. 광파장 다중화기 (WDM Mux/Demux)를 통해 전송된 1550nm 대역의 빛은 두 개의 광 순환기 (optical circulator)를 통해 FBG 광센서에 전달된다. FBG 센서는 브래그 파장을 반사하게 되고, 반사된 브래그 파장은 MZM (mach-zehnder modulator)과 같은 외부 변조기를 통해 OLT로 전송된다. ONU에서 상향 데이터는 버스트 모드 송신기를 통해 전송되는데, 버스트 모드 인에이블 (BM Enable: burst mode enable) 제어 신호를 사용하여 MZM 변조기를 제어하면 데이터가 전송되는 특정 타임 슬롯 동안 FBG 센서 신호를 전송하게 된다. 버스트 모드 FBG 센서 모듈 구성을 위해 두 개의 광 순환기와 MZM 외부 변조기가 사용되었다.

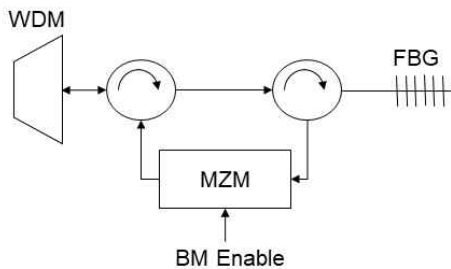


그림 3. 버스트 모드 FBG 센서 모듈의 구조
Fig. 3. Structure of burst mode FBG sensor module

III. 시뮬레이션

수동형 광가입자망에 FBG 광센서를 사용한 모니터링 시스템의 성능 분석을 위해 OptiSystem 시뮬레이션 툴을 사용하였다. 중앙국사에는 OLT와 FBG 정보수집 장치가 위치하고, 원격에는 4개의 ONU가 위치하며 ONU 별로 FBG 광센서를 포함한다고 가정한다. OLT와 모든 ONU 사이의 거리는 20 km, OLT와 ONU간 링크 속도는 10 Gbps, FBG 정보수집 장치의 출력 광파워는 3 dBm, FBG 센서용 광원의 중심 파장과 대역폭은

1550 nm와 50 nm에 해당한다.

FBG 센서를 이용한 파장분할 다중화 방식의 PON 모니터링 시스템의 경우 ONU 1은 1549.25 nm, ONU 2는 1549.75 nm, ONU 3은 1550.25 nm, ONU 4는 1550.75 nm의 브래그 파장을 갖는 FBG 광센서를 사용한다. 그림 4는 정상 동작시 ONU별 FBG 반사 스펙트럼을 보여준다. 4개의 ONU 별로 할당된 FBG 센서의 브래그 파장을 확인할 수 있다. OLT와 ONU간 거리를 20 km로 고정하였기에 브래그 파장의 수신 파워는 평균 -31 dBm 정도 측정됨을 알 수 있다. ONU 별 브래그 파장의 수신 여부를 판단하여 ONU별 장애 유무를 확인할 수 있다.

그림 5는 ONU 2의 광섬유 장애 발생시 ONU별 FBG 브래그 파장의 반사 스펙트럼을 보여준다. ONU 1, ONU 3, ONU 4의 경우 정상적으로 반사 스펙트럼을 측정하지만, ONU 2의 경우 장애가 발생하였기에 FBG 반사 스펙트럼이 나타나지 않음을 알 수 있다. 차세대 광가입자망의 경우 OLT별 ONU의 분기율은 1:32 분기에서 1:256 분기까지 증가하게 된다. ONU별로 상이한 브래그 파장을 갖는 FBG 센서를 사용하는 경우, 유지보수

및 운용관리 측면에서 용이하지 못함을 알 수 있다.

반면에, FBG 센서를 이용한 시분할 다중화 방식의 PON 모니터링 시스템의 경우 모든 ONU는 1550 nm의 브래그 파장을 갖는 FBG 광센서를 사용한다. 제안한 시분할 다중접속 방식의 PON 모니터링 시스템의 경우 ONU별로 할당된 타임 슬롯은 10 nsec로 고정되어 있다고 가정한다. 그림 6은 정상상태에서 4개의 ONU로부터 전송된 FBG 모니터링 신호를 보여준다. 10 nsec 단위로 할당된 타임 슬롯별로 정상적인 신호가 수신되고 있음을 확인할 수 있다. ONU별로 1310 nm의 버스트 모드 송신기와 연계된 버스트 모드 인에이블 신호를 사용하여 FBG 모니터링 신호를 버스트 모드 형태로 전송할 수 있다. 그러므로 중앙국사에 위치한 FBG 정보수집 장치에서는 ONU별로 할당된 특정 타임 슬롯 구간에서 FBG 센서의 반사 신호를 확인함으로써 ONU별 장애 유무를 판별할 수 있다.

그림 7은 ONU 2의 광섬유 장애 발생 시 중앙국사에 위치한 FBG 정보수집 장치에 수신된 신호를 보여준다. ONU 별로 10 nsec의 타임 슬롯을 할당하였으므로 10 nsec ~ 20 nsec 구간에

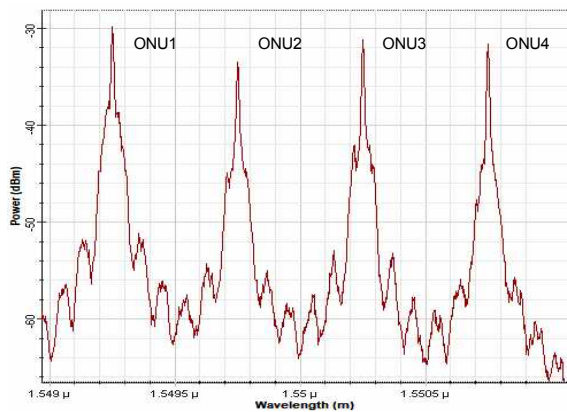


그림 4. 정상 동작시 4개 FBG의 반사 스펙트럼
Fig. 4. Reflection spectra of 4 FBGs with normal operation

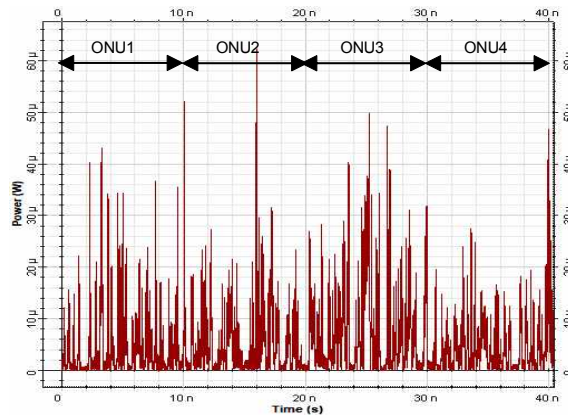


그림 6. 정상 동작시 4개 FBG 센서의 반사신호
Fig. 6. Reflected signals of 4 FBGs with normal operation

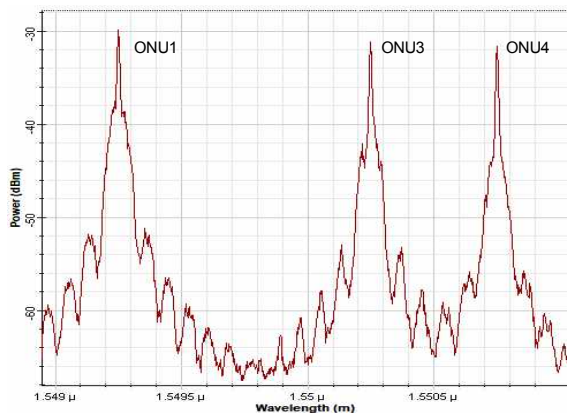


그림 5. ONU 2의 장애 발생시 4개 FBG의 반사 스펙트럼
Fig. 5. Reflection spectra of 4 FBGs when there is fiber breakdown at ONU 2

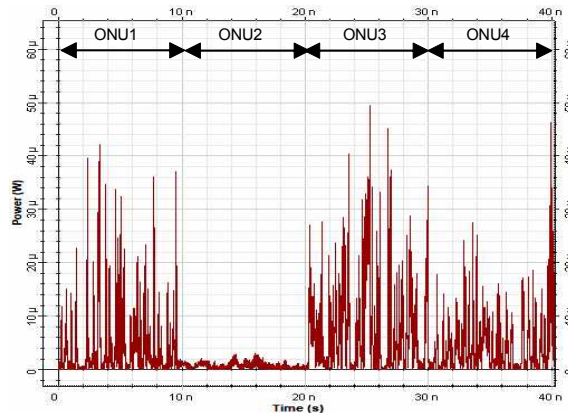


그림 7. ONU 2의 장애 발생시 4개 FBG 센서의 반사신호
Fig. 7. Reflected signals of 4 FBGs when there is fiber breakdown at ONU 2

서 ONU 2의 FBG 반사 신호가 나타나지 않음을 확인할 수 있다. ONU 1, ONU 3 및 ONU 4의 FBG 반사 신호는 정상적으로 수신된다. 차세대 광가입자망의 경우 OLT 1개에 최대 256개의 ONU가 연결되므로, ONU별로 동일한 브래그 파장을 갖는 FBG 센서를 사용함으로써 유지보수 및 운용관리 측면에서 유리함을 알 수 있다. 더불어, OLT와 FBG 정보수집 장치의 통합 및 ONU와 FBG 센서의 통합을 통해 좀 더 용이한 구현이 가능하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 수동형 광가입자망에서 동일한 브래그 파장을 갖는 광섬유 브래그 격자 센서를 사용하여 OLT와 ONU간 시분할 다중접속 방식을 통해 물리계층 장애를 감지할 수 있는 방안을 제시하였다. 중앙국사에는 OLT와 FBG 정보수집 장치가 위치하며, FBG 정보수집 장치는 FBG 광센서에 필요한 광원을 제공하고 FBG 반사파장을 분석하는 기능을 수행한다. 원격에 위치한 ONU는 동일한 반사파장을 갖는 FBG 센서를 포함하며, 버스트 모드 FBG 센서 모듈을 통해 OLT로부터 할당된 특정 타임 슬롯 동안만 FBG 반사 신호를 제공한다. 시뮬레이션을 통해 파장분할 다중화 방식의 PON 모니터링 방식과 시분할 다중화 방식의 PON의 모니터링 성능을 비교하였으며, 유지보수 및 운용관리 측면에서 시분할 다중접속 방식의 PON 모니터링 방식이 더 적합함을 보였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2019-2016-0-00314)

참고문헌

[1] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "Ethernet PON (ePON): Design and analysis of an optical access network," *Photonic Network Communications*, Vol. 3, No. 3, pp. 307-319, July 2001.

[2] S. I. Choi, "Cyclic polling-based dynamic bandwidth allocation algorithm for multimedia services over ethernet PONs," *ETRI Journal*, Vol. 7, No. 1, pp.87-96, January 2004.

[3] C. M. Assi, Y. Ye, S. Dixit, and M. A. Ali, "Dynamic bandwidth allocation for quality-of-service over ethernet PONs," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*,

Vol. 21, No. 9, pp. 1467-1477, November 2003.

[4] S. I. Choi and J. Park, "SLA-aware dynamic bandwidth allocation for QoS in EPONs," *Journal of Optical Communications and Networking*, Vol. 2, No. 9, pp. 773-781, September 2010.

[5] S. Hornung, R. Wood, and P. Keeble, "Single-mode optical fibre networks to the home," in *Proceeding of International Conference on Communications*, pp. 1563-1571, April 1990.

[6] K. Yuksel, M. Wuilpart, V. Moeyaert, and P. Megret, "Novel monitoring technique for passive optical networks based on optical frequency domain reflectometry and fiber bragg gratings," *Journal of Optical Communications and Networking*, Vol. 2, No. 7, pp. 463-468, July 2010.

[7] N. F. Naim, M. S. Ab-Rahman, H. A. Bakarman, and A. A. Bakar, "Real-time monitoring in passive optical networks using a superluminescent LED with uniform and phase-shifted fiber bragg grating," *Journal of Optical Communications and Networking*, Vol. 5, No. 12, pp. 1425-1430, December 2013.



최수일(Su-il Choi)

1992년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1999년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1999년~2004년: 한국전자통신연구원(ETRI)

2004년~현 재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : 광통신, 광센서, 가시광통신, IoT 등



Nguyen Khac Binh

2013년 : 베트남 궤터대학교 전자통신공학과 (공학학사)

2019년 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)

2019년~현 재: 전남대학교 광통신연구실 연구원

※ 관심분야 : 광통신, 광센서, 미래 네트워크, 멀티미디어 통신 등