WDM 네트워크에서의 양자 키 분배 시뮬레이터 설계

노광석, 채상혁, 신유철
㈜ 큐심플러스

{ks_noh, csh0153, yc_shin}@qsimplus.com

Design of a Quantum Key Distribution Simulator over WDM Networks

Kwangseok Noh, Sanghyeok Chae, and Youchul Shin
QSIMPLUS Co., Ltd.

요 약

양자 키 분배 장치(QKD)의 약한 신호 레벨로 인해 전용 채널(dark fiber) 사용을 벗어나 운영비를 낮추기 위해 기존 광전송망을 이용하는 WDM 네트워크에서의 고전 data 신호와 QKD 신호 동시 전송이 고려되고 있다. QKD 신호에 대해 고전 data 채널에 의한 영향은 Raman scattering 과 Crosstalk 이 크게 작용하며, 기존 SW 로 고전 신호에 의한 Raman scattering 영향을 분석하고, WDM 광서비스 채널 시험망 장비를 구축하여 실제 간섭 신호를 측정한다. 본 논문에서는 WDM 네트워크에서 QKD 신호를 전송하는 경우, 고전 data 채널에 의해 QKD 신호에 미치는 영향을 파악하기 위한 시뮬레이터를 설계한다.

Ⅰ. 서 론

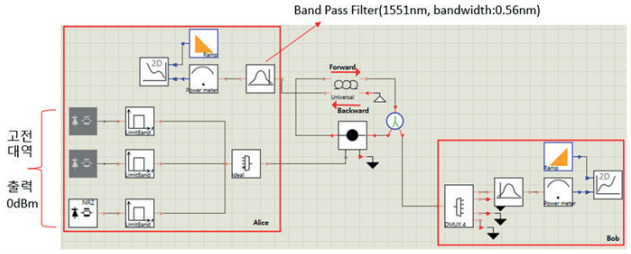
WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기법은 하나의 통신 선로에 여러 개 고전 data 신호 전송을 위해 대역을 구분하여 전송하는 방식으로 최근 양자 키 분배 (Quantum Key Distribution, QKD) 장치 운영비를 낮추기 위해 기존 전송망에 QKD 신호를 동시에 전송하는 기술이 연구되고 있다 [1], [2].

QKD 신호는 WDM 을 통해 동시에 전송되는 고전 data 신호에 비해 매우 약하기 때문에 Rayleigh scattering 과 Crosstalk 에 의한 간섭신호의 영향을 크게 받는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 VPIphotonics [3]를 이용하여 Rayleigh scattering 특성을 파악하고, 실제 WDM 광서비스 채널 시험망 장비 구축을 통해 scattering 을 측정할 수 있는 환경 구축에 대해 논의한다. 또한, 고전 data 신호가 QKD 신호에 미치는 영향 분석과 그에 따른 QKD 성능을 파악하기 위한 SW 구축을 위한 구조를 논의한다

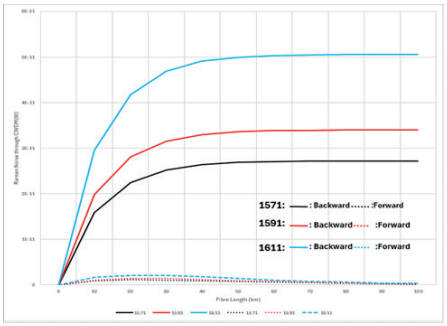
Ⅱ. 본론

그림 1 은 고전 채널 3 개 (1571nm, 1591nm, 1611nm) 사용 시 QKD 채널 1551nm 에서 측정한 Raman scattering noise 이다. Backward scattering 은 산란 빛이 양방향으로 생성되어 수신단에서 검출되고 20km 이하의 noise 크기가 많은 부분을 차지함을 나타낸다. Forward scattering 은 20km 이후, 빛의 감쇄와 산란 발생이 적어지는 현상이 발생하나 본 연구에서는 양방향 scattering 모두 신호 세기 mapping 문제로 인해 경향성만 확인하였다.

그림 2 는 WDM 전송 장비를 daisy chain 구성하여 신호가 양방향으로 전송되는지 확인하기 위한 구조도를 나타내고, 표 1 은 이 때 사용한 대역을 나타낸다.



(a)

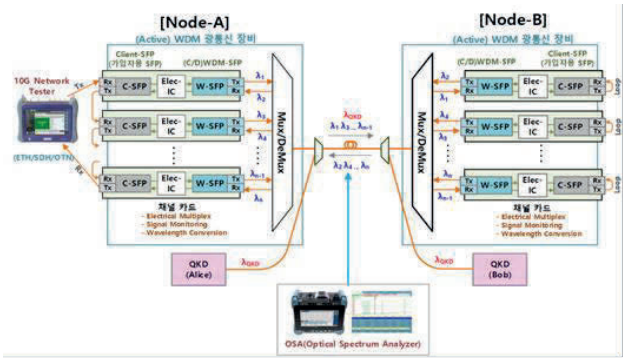


(b)

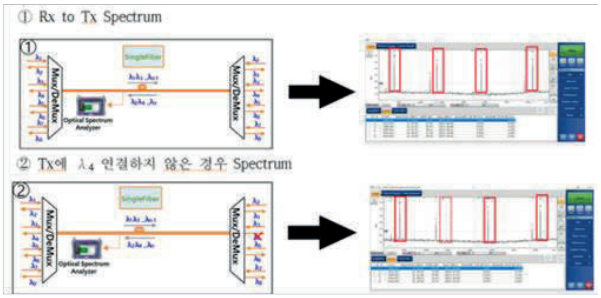
그림 1. 기존 SW 를 이용한 Raman noise spectrum; (a) block diagram, (b) Raman noise 측정

표 2. WDM 전송 장비 테스트를 위한 전송 대역

Tx/Rx	λ_1/λ_2	λ_3/λ_4 (OSC)	λ_5/λ_6	λ_7/λ_8	λ_{QKD}
파장(nm)	1270/1290	1370/1390	1470/1490	1590/1610	1550



(a)



(b)

그림 2. (a) BERT 를 이용한 WDM 장비의 daisy chain 구성과 (b) Forward/Backward 전송 신호 확인

그림 2 에서는 패턴 신호 전송을 위해 10G Network Tester 와 pulse spectrum 관찰을 위한 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 사용하여 Forward 와 Backward 방향으로 신호 전송이 이루어지고 있음을 확인하였고, 추후 고정밀 OSA 를 통해 더 낮은 세기의 신호인 Raman noise 를 측정하고자 한다.

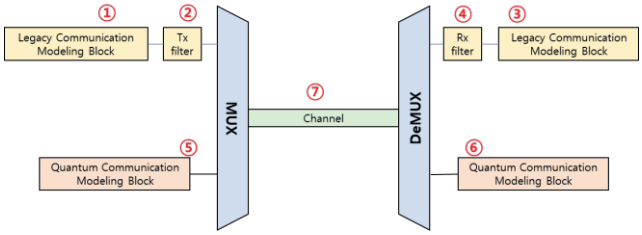
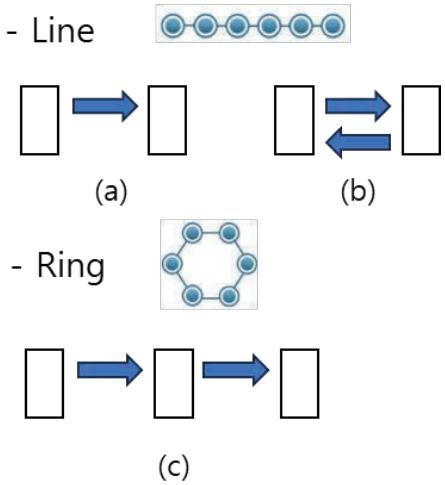


그림 3. 고전-QKD 동시 전송 simulator 제작을 위한 block diagram

그림 3 에서는 WDM 을 이용한 고전-QKD 동시 신호 전송을 위해, QKD 에 미치는 영향과 QKD 의 성능을 파악하기 위한 simulator 의 block diagram 을 나타낸다. 고전 신호의 개수/대역, Tx/RX filter 종류 등을 파라미터로 입력하고 이에 따라 QKD 프로토콜에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 구조를 설계하였다.

그림 4 에서는 그림 3 에서의 고전-QKD 동시 신호 simulator 를 이용하여 총 3 가지 네트워크 상황에서의 QKD 성능을 파악하고자 한다. 4(a)는 현재 주로 연구되고 있는 고전 신호의 일방향 상황에서 one-way 및 P&P BB84 등을 시뮬레이션 하고자 하며, 4(b)와 4(c)에서는 실제 광학 전송에서 주로 사용하는 전송 방식 하에서 시뮬레이션을 진행하고자 한다.



(c)

그림 4. 고전-QKD 동시 전송 simulator 에서 고려하는 network; (a) line 구조에서의 고전 신호 일방향 전송, (b) line 구조에서의 고전 신호 양방향 전송, (c) ring 구조

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 고전 data 신호가 QKD 신호에 미치는 영향 분석과 그에 따른 QKD 성능 파악을 위한 SW 작성을 위해 필요한 구조를 설계하였다. 타 연구 그룹에서 분석한 고전 data 신호 간섭과 필터 성능 등을 본 SW 에 반영하여 실제 QKD 장비가 WDM 상에서 적용되었을 때의 영향을 분석하고 WDM 에서의 간섭 영향을 극복할 수 있는 QKD 장비 고도화를 진행할 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (No. RS-2023-00242396)과 서울시 산학연 협력사업 2024 년 양자 기술개발 지원사업[QR 240007]의 지원을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

[1] K. A. Patel et al., “Co-Existence of Quantum and Classical signals in a common optical fibre,” Physical Review X, Vol. 11, Issue 12, pp. 1700-1707, 2012.

[2] Y. Mao et al., “Integrating quantum key distribution with classical communications in backbone fiber network,” Optics Express Vol.26, Issue 5, pp. 6010-6020, 2018

[3] https://www.vpiphotonics.com