

QKD-over-DWDM 시스템 상에서 1.3 μm 양자 채널 필터링 성능 개선 방안 연구

조남욱, 우태호, 이주한*

서울시립대학교

j.h.lee@ieee.org

Investigation into the Enhancement of 1.3 μm Quantum Channel Filtering Performance for a QKD-over-DWDM SystemNamwook Joe, Taeho Woo, and Ju Han Lee*
University of Seoul

요약

본 연구에서는 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) 고전 통신 시스템 상에서 1.3 μm QKD 채널을 분리하기 위한 광필터 성능 개선 기법에 대한 이론적 설계 및 성능 분석을 수행하였다. 이를 위해 Spontaneous Raman Scattering 과 Crosstalk Detection Probability Rate 를 모델링 하였고, 성능 개선을 위한 특수 광필터를 설계한 후 Quantum Bit Error Rate (QBER)과 Secret Key Rate(SKR)의 이론적 계산을 통해 기존 양자 채널 성능과 비교해 개선된 성능 평가를 수행했다.

I. 서론

강력한 보안 체계의 필요성이 대두되는 현 통신 시스템에서 Quantum Key Distribution (QKD) 방식은 양자의 불확정성 원리에 의해 원천적으로 도청이 불가능하다는 특성으로 인해 주목받고 있는 기술이다[1]. QKD 시스템은 Optical Fiber 를 사용하는 현 광통신 시스템에 즉각적으로 적용 가능하여 기존 인프라 시설을 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다[2]. 다만 QKD 채널이 현 광통신 시스템, 즉 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) 시스템에 통합되기 위해서는 기존 통신 채널의 신호가 양자 채널의 신호에 미치는 간섭 현상을 해결해야 한다[3,4].

본 연구에서는 양자 채널에 영향을 미치는 대표적인 현상으로 Spontaneous Raman Scattering 과 고전 채널의 Channel Crosstalk 에 주목하여 QKD 채널의 성능 지표인 QBER 과 SKR 계산에 적용했다. 채널 분리를 위해 설계한 특수한 Optical Filter 를 계산에 적용하여 Filter 가 없는 경우와 비교해 성능을 평가했다.

II. 본론

DWDM 채널에 QKD 채널이 통합된 통신 시스템에서 Spontaneous Raman Scattering 과 Channel Crosstalk 의 영향은 신호가 누적됨에 따라 증가하게 된다. 이러한 QKD 채널 성능 저하를 야기하는 잡음의 영향을 줄이기 위해서는 양자 채널의 수신단에서 채널 Isolation 을 극대화하고, QKD 채널과 Classical 채널 사이의 간격을 충분히 할 필요가 있다. 따라서 우리는 1310nm 대역에 QKD 채널, 1550nm 대역에 DWDM ITU 100 GHz 채널이 위치한 시스템에 수신단의 Isolation 극대화를 위한 Optical Filter 를 설계하였으며 이를 기반으로 전체 시스템 성능 계산을 수행했다.

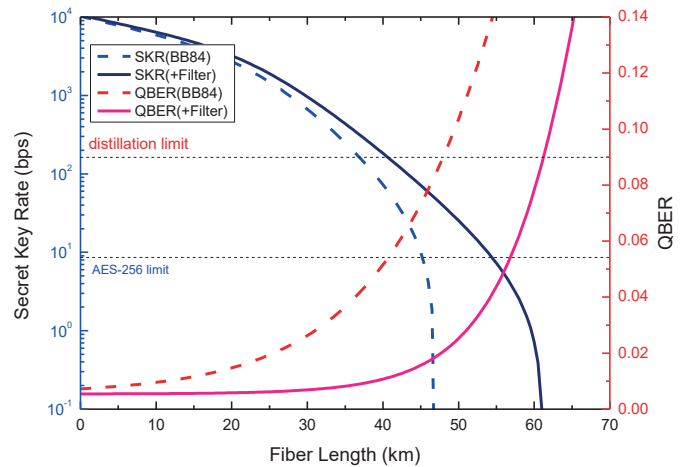


그림 1. Channel Isolation 을 위한 Filter 적용 유무에 따른 QBER 및 SKR 비교

그림 1 에서 점선은 설계한 Filter 가 적용되지 않은 경우이며 실선은 Filter 를 적용한 경우다. QKD Protocol 로는 BB84 를 선택했고, distillation limit 은 9%로 AES-256 limit 은 8.6 bits^{-1} 로 설정했다. Filter 를 적용한 경우에 QBER 과 SKR 의 경우 모두 송신 거리가 약 10km 이상 향상된 것을 확인할 수 있었다. 향후에는 채널 수에 따른 Raman Scattering 과 Crosstalk noise 를 추가적으로 고려하여 계산의 정밀도를 높일 예정이다.

III. 결론

본 연구에서는 DWDM 시스템에 QKD 채널을 통합했을 때 발생할 수 있는 간섭을 고려하여 QBER 과 SKR 을 계산했으며, QKD 채널 수신단의 Isolation 을

극대화할 수 있는 Optical Filter 를 설계 및 적용해 그 성능을 확인했다. 향후, 추가적으로 채널 수에 따른 Raman Scattering 과 Channel Crosstalk noise 를 추가한 계산을 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학 ICT 연구센터(ITRC)의 지원(RS-2021-II211810, 50%)과 과학기술정보통신부 및 한국연구재단 (RS-2023-00242396) 사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] K. A. Patel, J. F. Dynes, I. Choi, A. W. Sharpe, A. R. Dixon, Z. L. Yuan, R. V. Pentty and A. J. Shields “Coexistence of high-bit-rate quantum key distribution and data on optical fiber,” Phys. Rev. X 2, 041010 (2012).
- [2] L. Ma, A. Mink, and X. Tang, “High Speed Quantum Key Distribution Over Optical Fiber Network System,” J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 114, 149 (2009).
- [3] Qi, W. Zhu, L. Qian, and H. K. Lo, “Feasibility of quantum key distribution through dense wavelength division multiplexing network,” New J. of Phys. vol. 12, p.103042 (2010).
- [4] N. I. Nweke, R. J. Runner, S. R. McNown, J. B. Khurgin, T. E. Chapuran, P. Toliver, M. S. Goodman, J. Jackel, R. J. Hughes. C. G. Peterson, and J. E. Nordholt, “EDFA bypass and filtering architecture enabling QKD+ WDM coexistence on mid-span amplified links,” in Proceedings of the Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), Long Beach, CA, USA, (Optica Publishing Group), paper CWQ7 (2006).