

# 6G 네트워크에서의 양자 통신 및 컴퓨팅 활용 방안

홍준규, 김태윤, 류동균, 백상현

고려대학교

{clickhjk123, kimtyoun123, rdk0610, shpack}@korea.ac.kr

## A Survey on Utilizing Quantum Communication and Computing in 6G Networks

Junkyu Hong, Taeyun Kim, Dongkyun Ryoo, Sangheon Pack

Korea University

### 요약

6G 네트워크는 높은 신뢰성, 초저지연성, 초고속 데이터 전송 등의 특징을 가지고 있으며, 이러한 높은 성능 요구 사항을 충족하기 위해 양자 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 양자 통신 및 컴퓨팅을 활용하여 더 빠른 연산 능력과 높은 보안성을 제공할 수 있음에 따라, 이를 6G 네트워크에 적용하여 안전하고 효율적인 네트워크를 구축하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 모바일 네트워크, 사물 인터넷, 차량 인터넷 등 다양한 6G 네트워크에서 양자 통신과 컴퓨팅을 활용한 연구를 소개한다.

### I. 서론

6세대 (6G) 통신 기술에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 향후 수년 내에 상용화될 예정이다. 6G 네트워크는 높은 신뢰성, 초저지연성, 초고속 데이터 전송, 대규모 연결성 및 높은 네트워크 밀집도를 특징으로 하며, 이는 자율주행 자동차, 가상 및 증강 현실 등과 같은 엄격한 Quality of Service (QoS) 요구 사항을 가진 애플리케이션을 지원할 것으로 기대된다.

6G의 이러한 높은 성능 요구 사항을 충족시키기 위해 최근 양자 기술에 대한 관심이 높아지고 있다 [1]. 양자 기술은 통신 및 컴퓨팅 측면에서 미래의 6G 네트워크를 지원하고 상당한 수준의 보안을 제공하는 데 중요한 역할을 할 것이다.

양자 기술의 핵심 요소 중 하나인 양자 컴퓨팅 (Quantum Computing)은 기존의 고전적 컴퓨팅과는 근본적으로 다른 방식으로 작동한다. 양자 컴퓨터는 양자 중첩 및 얽힘과 같은 원리를 활용하여 동시에 여러 계산을 수행할 수 있다. 이는 기존의 비트 단위로 작동하는 컴퓨터와 달리 큐비트 (qubit) 단위로 작동하여 더 빠르고 효율적인 문제 해결을 가능하게 한다. 양자 컴퓨팅은 특히 최적화 문제, 암호 해독, 분자 모델링 및 기계 학습과 같은 분야에서 큰 잠재력을 가지고 있다.

또한, 양자 통신은 보안 측면에서 큰 강점을 가지고 있다. 양자 암호화는 양자 역학의 기본 원리인 불확정성 원리와 양자 복제 불가능성 원리에 기반하여 매우 높은 수준의 보안을 제공한다. 이는 기존의 암호화 기술을 뛰어넘는 보안성을 보장하며, 6G

네트워크의 다양한 보안 요구 사항을 충족시킬 수 있다. 예를 들어, 양자 키 분배 (QKD)는 두 통신 당사자 간의 안전한 암호 키 교환을 가능하게 하여 중간자 공격이나 도청을 원천적으로 차단할 수 있다.

이에 따라, 6G 네트워크에서 양자 기술의 활용을 단순히 이론적 연구에 그치지 않고, 실제 응용 분야에서도 광범위하게 적용하는 연구들이 진행되고 있다. 예를 들어, 모바일 네트워크 분야에서는 양자 컴퓨팅을 통해 네트워크의 효율성을 극대화하고, 양자 통신을 통해 데이터 전송의 보안성을 강화할 수 있다. 사물인터넷 (IoT) 환경에서 양자 통신과 양자 컴퓨팅을 결합하면 IoT 기기 간의 데이터 전송을 보다 안전하고 효율적으로 만들 수 있다. 또한, 블록체인의 기술과 결합된 양자 컴퓨팅은 거래의 무결성과 투명성을 보장하면서도 기존 블록체인의 확장성 문제를 해결할 수 있다.

차량 인터넷 (IoV) 분야에서도 양자 기술의 활용 가능성이 크게 주목받고 있다. 6G 기반 IoV에서는 양자 통신을 통해 차량 간 데이터 전송의 보안을 강화하고, 양자 컴퓨팅을 통해 실시간 데이터 처리 능력을 향상시킬 수 있다. 이러한 접근 방식은 자율주행 차량의 안전성과 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 할 것이다. 예를 들어, 양자 기반의 차량 간 통신은 네트워크의 안전성을 높이고, 차량 데이터의 실시간 분석을 통해 교통 혼잡을 줄이며, 사고 발생 시 빠른 대응을 가능하게 한다.

이에 본 연구에서는 6G 네트워크에서의 양자 통신 및 컴퓨팅의 활용을 통해 안전하고 효율적인 네트워크 환경을 구축하고, 다양한 혁신적인 응용 분야를 지원하는 방안 및 연구들에 대해 소개한다.

## II. 6G 네트워크에서의 양자 통신 및 컴퓨팅 활용 방안

연구 [2]는 네트워크 슬라이싱 기반의 소프트웨어 정의 네트워크 (SDN)를 활용한 QKD 네트워크 아키텍처를 제안했다. QKD 는 대표적인 양자 암호화 기술 중 하나로, 두 참여자 간의 안전한 암호 키 생성을 가능하게 한다. 그러나 QKD 네트워크를 구성하기 위해서는 기존 통신 채널과 더불어 양자 통신 채널 등 다양한 통신 환경을 고려해야 한다는 점에서 어려움이 따른다. 한편, 네트워크 슬라이싱은 하나의 물리적 코어 네트워크를 여러 가상 네트워크로 분리하여 맞춤형 서비스를 제공하는 기술이다. 주로 SDN 과 같은 소프트웨어적인 방식으로 구현되며, 다양한 시나리오에 적용되어 유연한 네트워크 구성이 가능하다는 장점을 지닌다. 이에 따라 [2]는 네트워크 슬라이싱 기반의 SDN 을 통해 QKD 네트워크를 구성하여 보다 높은 유연성과 보안성을 달성하고자 하였다. 제안된 아키텍처는 애플리케이션 계층, 제어 계층, 양자 계층 및 슬라이스 컨트롤러로 구성되며, QKD 세션을 설정하기 위한 각 계층 간의 호출 메시지 절차를 새롭게 정의하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 QKD 네트워크 아키텍처를 통해 QKD 서비스를 생성, 수정 및 삭제하는 데 소요되는 지연 시간과 같은 QoS 를 측정할 수 있음을 보여주었다.

연구 [3]은 IoT 환경에서 보안성을 강화하고 데이터 전송 효율성을 높이는 양자 컴퓨팅 기법을 제안했다. 일반적인 IoT 환경에서는 각 노드가 네트워크 내 모든 센서에 메시지를 브로드캐스팅하고, 센서가 이를 다시 네트워크로 브로드캐스팅하여 메시지를 주고받는다. 이러한 통신 방식에서는 외부 공격자가 메시지를 쉽게 도청할 수 있어 보안 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 블록체인 기술을 IoT 에 결합한 기법이 제안되었으나, 이는 거래 처리 속도가 느리다는 한계점을 갖는다. 이를 개선하기 위해 [3]은 빠른 데이터 처리 속도를 제공하는 양자 컴퓨팅을 블록체인 기반 IoT 기술에 접목한 Quantum Chain of Things (QCoT) 아키텍처를 제안하였다. QCoT 아키텍처는 사용자, 애플리케이션, IoT 서버, 그리고 블록체인 기반 데이터베이스인 distributed ledger 로 이루어져 있다. 그 중에서 IoT 서버와 distributed ledger 에 양자 컴퓨팅 기술을 적용하여 보안성을 강화하고 더 빠른 거래 처리 속도를 달성하는 시나리오를 제안했다.

연구 [4]는 IoV 환경에서 보안을 강화하고 프라이버시를 보호하기 위한 Quantum Efficiency Privacy Protection (QEPP) 프로토콜을 제안했다. 해당 프로토콜은 차량, Road Side Unit (RSU), 에지 서버 및 클라우드 서버로 구성된다. 특히, 에지 서버에서 클라우드 서버로 Light Detection And Ranging (LiDAR) 정보를 전송하는 과정에서 프라이버시를 보호하기 위해 양자 통신을 활용하였다. 제안된 QEPP 프로토콜은 다음과 같은 절차를 따라 동작한다. 먼저, 차량에 부착된 LiDAR 센서가 실시간 LiDAR 데이터를 수집하여 인접한 RSU 로 전송하고, RSU 는 해당 데이터를 에지 서버로 전달한다. 이후 에지 서버는 전달받은 LiDAR 데이터를 양자 point-cloud 형태로 인코딩한다. 또한, 제 3 의 인증 기관으로부터 에지와 클라우드 간의 인증 키를 획득하여 자신의 signature 와 결합한다. 에지 서버는 해당 키 정보를 앞서 양자 point-cloud 형태로 인코딩한 LiDAR 데이터에 포함한 후, 이를 양자 통신 채널을 통해 클라우드 서버로 전송한다. 최종적으로 클라우드 서버는

전달받은 데이터를 해독하여 LiDAR 정보를 추출한다. 시뮬레이션 결과, 해당 프로토콜을 사용했을 때 제 3 자의 도청과 네트워크 공격에 대한 높은 보안성을 유지하며, 양자 채널을 통해 안정적인 데이터 전송을 수행할 수 있음을 보여주었다.

## III. 결론

본 논문에서는 6G 네트워크에서 양자 통신 및 컴퓨팅을 활용한 연구를 살펴보았다. 양자 통신 및 컴퓨팅은 보다 효율적인 연산과 높은 보안성을 제공하며, 이를 모바일 네트워크, IoT, IoV 등 다양한 6G 네트워크 응용 분야에 적용하려는 시도가 지속되고 있다. 향후에는 모바일 네트워크 환경에서 양자 컴퓨팅 자원 할당 및 배치 문제를 고려하는 기법을 조사하고, 이를 개선하는 연구를 진행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2024-2021-0-01810)

## 참고 문헌

- [1] M. Z. Ali, A. Abohmra, M. Usman, A. Zahid, H. Heidari, M. A. Imran, and Q. H. Abbasi "Quantum for 6G communication: A perspective," *IET Quantum Communication*, vol. 4, no. 3, pp. 112-124, September 2023.
- [2] X. Wang, T. Chen, Y. Du, J. He, and C. Zhu, "Network Slicing-Based and QOS-Oriented Software-Defined Quantum Key Distribution Network," in *Proc. International Conference on Ubiquitous Communication (Ucom) 2023*, Xi'an, China, May 2023.
- [3] M. Younan, M. Elhoseny, A. A. Ali, and E. H. Houssein, "Quantum Chain of Things (QCoT): A New Paradigm for Integrating Quantum Computing, Blockchain, and Internet of Things," in *Proc. International Computer Engineering Conference (ICENCO) 2021*, Cairo, Egypt, December 2021.
- [4] Z. Qu, Z. Chen, X. Ning, and P. Tiwari, "QEPP: A Quantum Efficient Privacy Protection Protocol in 6G-Quantum Internet of Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 9, no. 1, pp. 905-916, January 2024.