

# 양자 제어: 이론에서 현실로 II

(2023.08.04., 양자정보연구지원센터)

## □ 양자 제어 사용의 이점, 도전 과제 및 제한 사항, 5가지 주요 상용 플레이어

### ○ 양자 제어 사용의 이점

- **정밀도 및 민감도 향상:** 양자 제어를 통해 양자 시스템을 정밀하게 조작하고 제어하는 것이 가능함, 고전적 방법과 비교할 때 측정 및 조작을 보다 정확하고 민감하게 만들고 원자 시계, 센서 기술 및 분광법 포함하여 향상된 정밀도를 위한 많은 응용 프로그램이 있음
- **양자 정보 처리:** 특정 계산 작업에서 양자 알고리즘은 큐비트의 양자 상태를 신중하게 제어하고 조작하여 실행할 수 있음
- **양자 시뮬레이션:** 고전 컴퓨터에서 시뮬레이션하기 어려운 복잡한 양자 시스템을 시뮬레이션하고 연구, 양자 제어 기술이 필요함, 신약 설계 가능하고 화학 반응 최적화 및 근본적인 양자 현상을 보다 효과적으로 이해할 수 있음
- **양자 계측 및 감지:** 고감도 측정 장치 및 센서 개발 가능함, 매우 약한 자기장 또는 전기장 감지할 수 있는 양자 센서는 의료 영상, 지구물리학적 탐사 및 보안 검색을 위해 공황에서 사용됨
- **양자 통신 및 암호화:** 광자 같은 입자의 양자 상태를 제어하여 정보 전송의 무조건적인 보안을 보장하는 통신 채널 설정, 안전한 암호화 및 암호 해독 가능하도록 양자 키 배포 프로토콜을 구현하여 양자 보안을 보장할 수 있음
- **양자 오류 수정:** 양자 정보가 오류로부터 보호되도록 양자 제어 기술 사용하여 오류 수정 코드 구현이 중요함, 정밀 제어 연산 사용하여 오류 감지 및 수정 가능하므로 양자 시스템의 신뢰성과 견고성이 향상됨

- 기초 연구 및 발견: 양자 현상에 대한 통찰력, 이론적 예측을 테스트하며 새로운 물리학 발견하여 잠재적인 새로운 발견의 가능성

○ 과제 및 제한 사항

- 결잃음(decoherence): 결맞음(coherence)이 상실되고 주변과 상호작용으로 양자 상태가 고전 상태로 바뀔 때 발생함, 양자 상태 충실도 및 양자 제어 작업 기간은 결잃음으로 제한됨
- 노이즈 및 오류: 열 변동, 제어 결함 및 제어되지 않은 환경 자유도에 대한 결합으로 유발됨, 양자 장치는 양자 제어 작업에 부정확성 도입하여 이런 오류로 인해 부정적 영향을 받을 수 있음
- 제한된 제어 가능성: 양자 시스템은 종종 기술적 제약에 의해 제어되는 능력이 제한됨, 시스템의 큐비트 수가 증가함에 따라 양자 상태를 정밀하게 조작하고 개별 큐비트에서 작업 수행이 어려워짐
- 복잡성 및 최적화: 최적화 제어 전략, 전역 솔루션 식별에 어려움
- 확장성: 양자 시스템의 크기가 증가함에 따라 증가하는 큐비트 수를 제어 및 조작에 더욱 어려워짐
- 초기 조건에 대한 민감도: 초기 조건에 따라 양자 시스템은 작은 교란에도 매우 민감할 수 있음, 장기간에 걸쳐 견고하고 신뢰할 수 있는 제어 유지가 어려울 수 있음
- 완전한 지식의 부족: 양자 시스템 역학을 설명하는 해밀토니안을 알아야 함, 불확실성은 제어 전략 효과에 영향을 미칠 수 있음
- 양자 제어 복잡성: 양자 제어 작업 수행 시 고급 제어 기술과 특수 하드웨어가 필요하며 이는 까다롭고 시간이 많이 소요됨, 실용적인 양자 제어 시스템 설계하고 구현할 때 몇 가지 문제 발생

○ 양자 제어의 5가지 주요 상용 플레이어(스타트업과 민간 기업)

- Q-CTRL(호주): 오류 제어 문제를 해결하기 위해 양자 컴퓨터용 펌웨어 프레임워크 개발 회사, 첫 번째 소프트웨어 제품인 Black Opal은 물리계층에서 결잃음과 오류 줄이는 하드웨어 독립적인 제

## 어 소프트웨어 프로그램

- QBLOX: 확장 가능한 저지연 큐비트 제어 장비 설계, 고객의 시스템과 통합이 가능한 양자 컴퓨터용 양자 제어 스택으로, 스택에 노이즈 레벨링 없고, 임의 제어 흐름 이용한 임의 제어 흐름 수행 가능
- QRUISE: Optimizer, 시뮬레이터, ML 및 기타 소프트웨어 구성 요소와 같은 알고리즘으로 양자 기술 개발 가속화, 응용 프로그램 향상하도록 설계된 알고리즘 제공, ML 및 Quantum Optimal Control 사용한 첫 번째 제품은 NISQ 장치 제어하는 장애물 해결
- Quantum Machines: 디지털 신호 처리, 알고리즘, FPGA, 칩 설계, RF/마이크로웨이브 공학, 최적화, 머신러닝 및 양자 물리학 포함한 통합 기반 기술 통해 하드웨어 및 소프트웨어 중점
- Zurich Instruments: 동적 신호 분석 소프트웨어가 포함된 고급 테스트 및 측정 기기 개발 및 판매, 100개 이상 초전도 및 스핀 큐비트를 제어하도록 설계된 최초의 상용 QCCS(Quantum Computing Control System) 출시(2018)

## ○ 결론

- 양자 오류 수정 연구의 상당 부분은 큐비트를 인코딩하고 인코딩된 세트의 오류를 효율적으로 감지하기 위한 수학적 전략에 전념
- 실제 하드웨어에서 완전히 자동화된 양자 오류 수정 피드백 루프 구현 방법을 연구하기 시작한 것은 최근의 일임
- 양자 오류 수정과 제어 이론을 결합하여 새롭고 혁신적인 접근 방식으로 양자 계산의 새로운 시대를 열수 있음을 인식하고 있음

## (원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2023/07/19/quantum-control/>