MIT 연구진, 기록적인 양자 게이트 충실도 달성 보고

(2025.02.13., 양자정보연구지원센터)

□ MIT 연구진, 사상 최고 충실도의 단일 큐비트 게이트 구현

○ 연구 개요

- MIT 연구진이 **플럭소늄(Fluxonium)큐비트를 활용해 99.998%의 충실도를 기록**한 단일 큐비트 게이트를 구현
- 양자 컴퓨팅에서 필수적인 오류 보정에 필요한 자원을 줄이고, 실용화 가능성을 높이는 핵심 성과(PRX Quantum 저널에 게재)

○ 양자 게이트에서 오류 문제

- (양자 컴퓨팅의 원리와 한계) 양자 컴퓨터는 양자 중첩과 얽힘을 활용하여 고전 컴퓨터보다 빠르게 연산 수행
- 큐비트는 외부 노이즈와 불완전성에 민감, 오류 발생 가능성이 큼
- (주요 오류 유형) **결잃음(Decoherence)**: 큐비트가 외부 환경과 상호작용하면서 양자 정보를 잃는 현상
- **역회전 오류(Counter-Rotating Errors)**: 큐비트를 전자기파로 조작할 때 발생하는 불안정성
- 빠른 게이트 연산 시 더욱 심각해짐

○ 역회전 오류 해결 방법

- **(원형 편광 마이크로파 드라이브(Circularly Polarized Microwave Drives))**
- 원형 편광된 빛과 유사한 방식으로 전자기파를 이용하여 큐비트를 조작
- 초기에 효과를 보였으나, 목표한 충실도 달성을 위해 추가 개선 필요
- **(정수배 펄스(Commensurate Pulses) 기법)**
- 전자기 펄스를 특정한 타이밍에 맞춰 조절하여 역회전 오류를 일

정하게 유지

- 오류를 보정할 수 있도록 설계하여 간단하면서도 효과적인 해결책 제공
- MIT 연구진은 이 기법이 다양한 큐비트 시스템에도 적용 가능하다고 평가

ㅇ 플럭소늄 큐비트의 장점

- 플럭소늄 vs. 트랜스몬 큐비트 비교
- (**플록소늄 큐비트**) 슈퍼 인덕터(superinductor)포함 -> 환경적 노이즈에 강함
- 하지만 낮은 작동 주파수로 인해 게이트 연산 속도가 느림
- (**트랜스몬 큐비트**) 일반적으로 사용되는 초전도 큐비트지만 노이즈에 취약
- 새로운 제어 기법 적용하여 플럭소늄의 낮은 주파수 한계를 극복
- 빠르고 정확한 게이트 연산 구현 성공

ㅇ 양자 오류 보정(QEC)과 실용적 양자 컴퓨팅

- (**양자 오류 보정의 중요성**) 양자 컴퓨터는 노이즈와 오류를 보정할 수 있어야 실용화 가능
- 충실도가 높은 게이트 연산은 오류 보정의 부담을 줄이는 핵심 요소
- (연구의 기여) 99.998% 충실도의 단일 큐비트 게이트 구현, 오류 보정 비용 절감

ㅇ 연구팀이 개발한 기법은 플럭소늄뿐만 아니라 다양한 양자 컴퓨팅 플랫폼에 적용 가능

(원문)

1. https://thequantuminsider.com/2024/07/03/quantum-wi-fi-future-quantum-tech-could-power-super-secure-wireless-communication/