

Quantinuum, 양자 오류 수정 핵심 임계점 돌파

(2025.07.08., 양자정보연구지원센터)

□ Quantinuum, 범용 오류 허용 양자컴퓨터 실현의 마지막 장애물 극복 선언

○ 주요 개요

- Quantinuum은 양자 오류 보정 기반의 보편적 게이트 셋 구현에 성공하여 양자컴퓨터의 실용화 수준(Utility-Scale) 도달 가능성을 시사함
- 두 편의 arXiv 논문을 통해 논리적 오류율이 물리적 오류율보다 낮은 최초의 “Break-even” 비-Clifford 게이트를 시연
- 이번 성과는 양자컴퓨터가 NISQ 시대에서 벗어나 **완전 오류 보정 기반 범용 시스템**으로 도약하는 전환점으로 평가됨

○ 기술적 핵심 내용

- 양자 컴퓨터의 실용화에는 “**범용성(universality)**” 과 “**오류 보정(fault tolerance)**” 이 동시에 충족되어야 함
- Quantinuum은 두 가지 핵심 기술인 “**매직 상태 증류(magic state distillation)**” 와 “**코드 전환(code switching)**” 을 통해 고신뢰도의 비-Clifford 연산을 구현함
- 논문 1) 논리 게이트가 물리 게이트보다 높은 정확도를 가지는 “Break-even” 지점을 최초로 달성
 - * 단 8개의 큐비트만으로 “오류 검출 기반 코드(H6 [[6,2,2]])” 를 사용해 제어-Hadamard 게이트를 논리 수준에서 구현
 - ** 논리적 오류율: 2.3×10^{-4} 물리적 기준(1×10^{-3})보다 낮음
- 논문 2) 하이브리드 코드 전환 방식으로 “매직 상태의 충실도(Fidelity) 0.99949(오차율 5.1×10^{-4})”를 기록함
 - * 28~56 큐비트를 이용한 실험으로 최소화된 자원 소모로도 고정밀 논리 상태 생성 가능성 제시

- 범용 오류 허용 게이트 집합의 의미
 - 양자 시스템 내에서 모든 연산을 오류 탐지 및 정정과 함께 실행 가능한 상태로 실현
 - 고충실도 비클리포드 논리 게이트를 포함하는 완전한 게이트 집합 구현은 양자 우위(quantum advantage) 확보를 위한 전제 조건
 - 화학, 최적화, 재료 과학 등 산업용 양자 알고리즘에 필요한 오류율 수준 확보 가능성 확인
- 의미 및 파급효과
 - 이번 성과는 양자 오류 보정 논리 게이트가 실제 물리 게이트보다 더 우수할 수 있음을 실험적으로 입증한 첫 사례
 - 논리 게이트와 매직 상태가 높은 신뢰도로 구현되면서 향후 대규모 양자 알고리즘의 실행 가능성 확보
 - 양자 알고리즘 적용 시 필요한 큐비트 수를 10배 이상 감소시킬 수 있는 효율적 오류 보정 방식 확보
- 향후 계획 및 전망
 - Quantinuum은 98큐비트 Helios 프로세서에 해당 기술 통합 예정이며, 오류율 $10^{-10} \sim 10^{-14}$ 수준의 알고리즘 실행 기대
 - 화학, 최적화, 소재 시뮬레이션 등 고난도 분야에서 양자 우위(Quantum Advantage)를 달성할 핵심 기반 마련
 - 기존 방식보다 자원 효율이 높은 매직 상태 공장의 실현 가능성 열림 → 산업적 응용의 시간표 앞당김
 - Quantinuum은 2029년까지 완전 오류 보정 기반 양자컴퓨터 Apollo를 실현한다는 로드맵을 유지 중

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/06/27/quantinuum-crosses-key-quantum-error-correction-threshold-marks-turn-from-nisq-to-utility-scale/>