

마이크로소프트 · 퀀티넘, 양자오류 보정 성능 대폭 향상

(2026.07.20 양자정보연구지원센터)

- Microsoft and Quantinuum, 양자 오류 보정 기술의 중대한 진전 발표
 - 마이크로소프트 · 퀀티넘, 양자 오류 보정 기술의 실효성 입증
 - 마이크로소프트 퀀텀(Microsoft Quantum)과 퀀티넘(Quantinuum) 연구진은 Nature에 발표한 연구에서 양자 오류 보정(Quantum Error Correction, QEC)을 적용해 실제 계산 과정에서 오류율을 물리 큐비트 수준보다 크게 낮추는 데 성공함
 - 연구진은 2024년 신뢰성 높은 논리 큐비트(Logical Qubit)를 구현한 데 이어, 이번에는 계산이 진행되는 동안 반복적으로 오류를 보정하여 안정적인 양자 연산이 가능함을 실험적으로 입증함
 - 실험 결과, 동일한 연산을 물리 큐비트만으로 수행한 경우와 비교해 최대 800배, 일반적으로 11~800배 수준의 오류 감소 효과를 확인함
 - 이번 성과는 양자 오류 보정에 필요한 높은 자원 비용에도 불구하고 실제 계산 성능 향상 효과가 이를 상회할 수 있음을 보여준 중요한 사례로 평가됨
 - 두 가지 오류 보정 코드 개발 및 반복 오류 보정 성공
 - 연구진은 퀀티넘의 이온트랩(Trapped-ion) 양자프로세서에 최적화된 두 가지 오류 보정 기법인 Carbon Code와 Tesseract Subsystem Code를 개발함
 - Carbon Code는 12개의 물리 큐비트로 2개의 논리 큐비트를 보호하며, Tesseract Code는 16개의 물리 큐비트로 4개의 논리 큐비트를 보호하면서 보다 효율적인 오류 보정을 지원함
 - Bell 상태 생성 실험에서는 오류율이 기존 약 “0.8%에서 0.17%”로 감소했으며, 선택적 오류 제거(Post-selection)를 적용한 경우 “1만 5천 회 이상의 실험에서 오류가 발생하지 않아 약 0.001%의 오류율(약 800배 개선)”을 기록함
 - 또한 계산 도중 최대 10회 반복 오류 보정을 수행하여 보정 주기

당 오류율을 약 “0.006%” 로 낮추었으며, 이는 기존 대비 50배 이상 향상된 수준으로 계산 중 반복적인 오류 보정의 효과를 처음으로 입증함

○ 복잡한 양자 회로에서도 오류 보정 효과 확인

- 연구진은 Tesseract Code를 이용해 4 · 8 · 12개의 논리 큐비트로 구성된 그래프 상태(Graph State) 생성 실험을 수행하여 보다 복잡한 양자 회로에서도 오류 보정 성능을 검증함
- 실험 결과 Path-4에서는 15배, Cube-8에서는 11배, Cat-12에서는 22배의 오류 감소 효과를 확인했으며, 모든 경우에서 오류 보정이 적용된 연산이 비적용 연산보다 우수한 성능을 나타냄
- 이는 현재 수준의 양자 하드웨어에서도 오류 보정을 통해 실제 계산 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 보여주는 결과로 평가됨

○ 실용적 오류 허용형(Fault-tolerant) 양자컴퓨터 구현을 위한 과제

- 이번 연구는 오류 보정 기술의 가능성을 입증했지만, 일부 결과는 오류 가능성이 있는 실험을 제외하는 후처리(Post-selection) 방식에 의존했으며, 완전한 실시간 오류 복원 및 피드포워드(Feed-forward) 제어는 아직 구현되지 않음
- 향후 실시간 오류 해석(Decoding), 자동 오류 수정, 대규모 논리 큐비트 운용을 위한 제어 시스템과 하드웨어 성능 향상이 필요함
- 연구진은 이온 이동 과정에서 발생하는 위상 잡음(Dephasing)이 주요 오류 원인임을 확인했으며, 컴파일러 최적화와 동적 디커플링(Dynamical Decoupling) 기법으로 일부 개선 효과를 얻음
- 이번 연구는 대규모 오류 허용형 양자컴퓨터가 즉시 구현되었음을 의미하지는 않지만, 양자컴퓨팅이 단순히 큐비트 수를 늘리는 단계를 넘어, 오류를 효과적으로 관리하며 실질적인 응용으로 발전하는 전환점이 될 것으로 평가됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/06/13/microsoft-and-quantinuum-report-on-major-gains-in-quantum-error-correction/>