

구글, 양자컴퓨터의 오류 학습 가능성 입증

(2026.08.11., 양자정보연구지원센터)

- 구글, 양자컴퓨터가 계산 중 오류를 스스로 학습할 수 있음을 입증
 - 양자컴퓨터가 계산 중 발생하는 오류를 스스로 학습하고 성능을 개선하는 기술 개발
 - 구글 연구진은 양자컴퓨터가 연산을 중단하지 않고 양자 오류정정 과정에서 발생하는 데이터를 AI가 실시간으로 학습해 하드웨어 제어 설정을 지속적으로 조정하는 기술을 개발
 - 구글의 초전도 양자 프로세서 ‘Willow’ 에서 실험한 결과, 기존 보정·전문가 튜닝 방식보다 논리적 오류율을 약 20% 추가 감소시키고, 인위적으로 하드웨어 드리프트를 발생시킨 환경에서는 오류 안정성을 최대 3.5배 향상
 - 연구 결과는 Nature에 게재됐으며, 표면코드(surface code)와 컬러코드(color code) 기반 양자 오류정정에서 초전도 양자 하드웨어의 새로운 성능 기록도 제시
 - 주기적 재보정 대신 ‘계산하면서 학습하는’ 방식 적용
 - 현재 양자컴퓨터는 온도, 전자장비, 재료 특성 등의 미세한 변화로 큐비트 제어 신호가 달라지면 연산을 중단하고 하드웨어를 재보정하는 방식이 일반적
 - 그러나 향후 양자컴퓨터가 수일 또는 수개월 동안 장시간 연산을 수행할 경우, 반복적인 연산 중단과 재보정은 실용적 확장에 큰 제약이 될 수 있음
 - 연구진은 양자 오류정정 과정에서 이미 생성되는 오류 탐지 데이터를 AI의 학습 데이터로 활용해, 연산과 보정을 동시에 수행하는 방식을 제시

○ 강화학습을 활용한 양자컴퓨터 자율 최적화

- 강화학습(Reinforcement Learning) 기반 AI가 오류 탐지 과정에서 나타나는 패턴을 분석하고, 마이크로파 펄스의 진폭·주파수·결합 강도 등 1,000개 이상의 하드웨어 제어 파라미터를 지속적으로 조정
- AI는 특정 설정이 오류를 증가시키는지 감소시키는지를 피드백으로 학습하면서 양자 프로세서의 최적 작동점을 찾아가는 방식
- 기존에는 오류 탐지 데이터가 양자정보의 오류를 수정하는 데 주로 사용됐다면, 이번 연구에서는 동일한 데이터를 하드웨어 자체의 성능 개선을 위한 학습 정보로도 활용했다는 점이 특징

○ 실험 결과, 오류율과 안정성 개선 확인

- Willow 프로세서에서 거리 5·7 표면코드와 거리 5 컬러코드를 적용해 강화학습 기반 제어 기술을 검증
- 인위적으로 여러 제어 파라미터에 드리프트를 발생시킨 결과, 강화학습을 적용하면 논리적 오류율이 약 24% 감소하고 안정성이 2.4배 향상
- 디코더 파라미터까지 함께 조정한 경우에는 논리적 오류율 31% 감소, 논리적 안정성 3.5배 향상을 확인
- 기존 방식으로 충분히 보정한 상태에서도 강화학습을 추가 적용하면 논리적 오류율이 약 20% 추가 감소하는 효과를 확인

○ 대규모 양자컴퓨터로의 확장 가능성 제시

- 연구진은 향후 수만~수백만 개의 제어 파라미터가 필요할 수 있는 대규모 오류정정 양자컴퓨터를 고려해 시뮬레이션 수행
- 거리 15 표면코드와 약 4만 개의 제어 파라미터를 대상으로 한 시뮬레이션에서도 강화학습 기반 최적화가 가능함을 확인
- 개별 하드웨어 파라미터가 주로 주변의 오류 탐지 신호에 영향을

미친다는 양자 오류정정의 특성을 활용해, 시스템 규모가 커져도 최적화 부담이 급격히 증가하지 않도록 설계

- 이를 통해 향후 대규모 양자컴퓨터가 장시간 연산하는 동안 사람의 개입 없이 스스로 상태를 모니터링하고 성능을 유지하는 자율형 양자컴퓨팅으로 발전할 가능성을 제시

○ 의의 및 향후 과제

- 이번 연구는 양자컴퓨터의 성능 향상이 단순히 큐비트 수를 늘리거나 물리적 오류율을 낮추는 것뿐만 아니라, 계산 과정에서 발생하는 오류 데이터를 활용해 시스템을 지속적으로 최적화하는 기술도 중요함을 보여줌
- 다만 AI가 새로운 설정을 탐색하는 과정에서 일시적으로 성능을 저하시킬 가능성이 있고, 빠르게 변화하는 하드웨어 드리프트에는 즉각 대응하기 어려운 한계가 존재
- 향후에는 AI의 탐색 과정에서 발생하는 성능 저하를 최소화하고, 보다 정교한 신경망 등을 활용해 오류 데이터에서 더 복잡한 패턴을 학습하는 연구가 필요
- 궁극적으로 양자 오류정정과 AI 기반 자율 보정을 결합해 장시간 중단 없이 안정적으로 연산할 수 있는 실용적·내결함성 양자컴퓨터 구현에 기여할 것으로 기대

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/07/10/google-study-shows-quantum-computer-can-learn-from-its-own-errors-while-it-computes/>