

고정밀 양자 컴퓨팅 구현을 위한 새로운 경로 제시

(2026.08.11., 양자정보연구지원센터)

□ 고정밀(High-Fidelity) 양자컴퓨팅 구현을 위한 새로운 경로 제시 연구

- 시드니대 · IBM 공동연구, 고신뢰도 양자컴퓨팅 구현의 핵심 저해요인 규명
 - 시드니대 연구진이 IBM과 공동으로 현재 양자컴퓨터의 성능과 신뢰도를 제한하는 주요 요인을 정량적으로 규명하고, 이를 완화할 수 있는 방법을 제시(*Nature Communications*에 게재)
 - 양자 연산 과정에서 발생하는 오류의 원인과 특성을 분석함으로써, 향후 오류 내성 양자컴퓨팅(fault-tolerant quantum computing) 및 대규모 양자컴퓨터 구현에 기여할 것으로 기대
- 양자컴퓨터의 핵심 과제: 취약한 큐비트와 오류
 - 양자컴퓨터는 기존 컴퓨터로 해결하기 어려운 복잡한 문제를 처리할 수 있는 잠재력을 보유(복잡한 화학 시스템 모델링, 신소재 및 의약품 설계, 최적화 문제 해결 등)
 - 그러나 양자정보의 기본 단위인 “큐비트(qubit)”는 외부 환경의 미세한 간섭에도 정보가 손실될 정도로 매우 취약
 - 실제 양자컴퓨터에서는 연산 중 발생하는 오류를 지속적으로 확인 · 보정하는 양자 오류정정(quantum error correction) 기술 필수적
 - 오류정정을 위해 일부 물리적 큐비트는 정보처리 자체가 아니라 다른 큐비트의 오류를 탐지하는 데 사용되며, 이 과정에서 오류가 추가로 발생할 수 있다는 문제가 존재
- 중간 회로 측정(Mid-circuit Measurement), 오류 발생 주요 요인으로 확인
 - 연구진은 양자 연산 과정에서 반복적으로 수행되는 중간 회로 측정이 시스템 성능에 미치는 영향을 집중적으로 분석
 - 중간 회로 측정은 연산 도중 특정 큐비트의 상태를 측정해 오류정정에 필요한 정보를 확보하는 과정

- 측정된 큐비트는 고전적 상태로 전환되는 반면, 다른 큐비트는 양자 결맞음(coherence)을 유지
- 측정 결과를 바탕으로 이후 연산을 조정할 수 있어 양자 오류정정에 필수적인 절차
- 그러나 측정이 완료될 때까지 다른 연산에 참여하는 큐비트가 대기(idling)해야 하며, 이 “유휴 상태에서 발생하는 노이즈(idling noise)”가 새로운 오류를 유발
- 중간 회로 측정은 양자 오류정정에 반드시 필요한 절차이기 때문에 단순히 제거할 수 없으며, 측정 과정의 속도와 정확도를 어느 수준까지 확보해야 하는지 정량적으로 규명하는 것이 중요

○ IBM 156큐비트 양자 프로세서를 활용한 실증

- 연구진은 IBM의 156큐비트 Heron r2 초전도 양자 프로세서를 활용해 다양한 오류정정 방식의 성능을 비교·분석
- 특히 중간 회로 측정으로 인해 발생하는 유휴 노이즈 줄이는 방법에 집중
- 오류정정 회로를 재설계해 측정 과정에서 발생하는 유휴 시간을 단축한 결과, 논리 큐비트(logical qubit)의 생존율을 크게 향상
기존: 오류정정 주기당 90% 미만, 개선 후: 오류정정 주기당 96% 이상
- 또한 현재 양자 하드웨어에서 측정 과정 자체에서 발생하는 노이즈가 양자 논리 연산의 신뢰도 제한의 주요 요인 중 하나라는 사실 확인

○ 오류정정 방식 개선을 통한 양자컴퓨터 신뢰도 향상

- 연구진은 단순히 오류 발생 사실을 확인하는 데 그치지 않고, 어떤 물리적 과정이 실제 성능 저하를 유발하는지를 규명
- 특히 큐비트 측정 과정이 양자 시스템의 불안정성을 증가시킬 수 있음을 확인, 측정 방식을 개선해 논리 큐비트 안정성과 신뢰도 향상
- 연구 결과는 향후 양자컴퓨터의 규모를 확대하면서도 오류를 효과적으로 억제하기 위해 필요한 하드웨어 성능 기준과 설계 방향을 제시했다는 점에서 의미

○ 시드니대 · IBM 간 산학협력의 성과

- 이번 연구는 시드니대와 IBM이 2024년부터 추진해 온 양자 오류 정정 및 오류 내성 양자컴퓨팅 공동연구의 직접적인 성과
- 해당 협력은 미국 정부의 연구지원기관인 “IARPA(Intelligence Advanced Research Projects Activity)”의 지원을 받아 추진
- 시드니대와 영국 UCL(University College London) 간 국제 협력 및 인재교류 프로그램도 연구에 참여
- UCL 박사과정 학생, 시드니 Nano 연구그룹에 합류 공동연구 수행
- IBM 연구진은 중간 회로 측정의 특성을 분석하기 위한 양자 오류정정 벤치마크 설계에 참여

○ 연구의 의의 및 향후 전망

- 이번 연구는 실제 첨단 양자 하드웨어에서 오류가 발생하는 구체적인 원인을 규명하고, 오류정정 과정 자체에서 발생하는 문제를 줄일 수 있는 실질적인 방법을 제시했다는 점에서 의미
- 대학의 양자컴퓨팅 이론 · 기초연구와 IBM의 첨단 양자 하드웨어를 결합함으로써, 실험실 수준의 기술을 넘어 실제 활용 가능한 양자컴퓨터 개발에 필요한 공학적 과제를 확인
- 연구진은 향후 양자컴퓨터가 실질적인 산업 · 과학 문제를 해결하기 위해서는 오류를 안정적으로 탐지 · 정정하면서 시스템 규모를 확대할 수 있어야 한다고 강조
- 특히 이번 연구에서 확인된 **측정 노이즈 및 유희 시간 문제를 개선하는 것이 대규모 · 고신뢰도 양자컴퓨터 구현의 중요한 과제로 제시됨**
- 대학 · 정부 · 산업계 간 협력과 실제 양자 하드웨어를 활용한 검증이 차세대 양자기술 발전에 필수적이며, 호주 역시 국제 공동 연구를 통해 양자기술 분야에서 역할을 확대하고 있음을 보여줌

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/06/23/pathway-to-high-fidelity-quantum-computing-identified-in-new-research/>