

# 양자 오류 완화, 엄격한 한계 직면 가능성

(2024.08.08., 양자정보연구지원센터)

- 양자 오류 완화(Quantum Error Mitigation), 노이즈를 줄여주는 유망한 기술임에도 근본적 한계 있음
  - 연구 배경(*Nature* 24.07.25 게재)
    - 대규모 양자 시스템에서 오류 완화를 얼마나 효과적으로 수행할 수 있는지에 대한 과제 제기
    - 양자 컴퓨터는 고전적 컴퓨터로 해결할 수 없는 문제를 해결할 잠재력이 있음
    - 환경과 상호작용으로 인한 얽힘 깨짐이 양자 계산의 신뢰성을 위협
  - 양자 오류 완화
    - 추가적인 양자 하드웨어 없이 고전 컴퓨팅 기술을 사용해 오류를 수정하는 방법
    - 중간 회로 측정 및 적응형 게이트가 필요하지 않음
  - 현재 오류 완화 기술
    - 제로 노이즈 외삽법과 확률적 오류 취소를 엄격하게 검토함
    - 특정 경우에 효과적이지만 심각한 리소스 패널티에 직면함
  - 이론적 틀과 결과
    - 기댓값을 추정하는 약한 오류 완화와 깨끗한 출력 상태에서 샘플을 생성하는 것을 목표로 하는 강한 오류 완화를 구별
    - 가상 증류, 클리포드 데이터 회귀, 제로 노이즈 외삽법, 확률적 오류 취소를 포함한 다양한 실용적 오류 완화 프로토콜을 포함함

- 양자 컴퓨팅에 대한 의미
  - 노이즈가 양자 상태의 구별성에 영향을 미치기 때문에 효과적인 오류 완화는 강력한 노이즈 제거기 역할을 해야 하며, 노이즈가 있는 버전을 통해서만 액세스 할 때도 상태를 구별해야 함
  - 광범위한 오류 완화 프로토콜의 근본적 한계 확립에 통찰력을 제공함
- 오류 완화의 한계, 통계적 문제 직면
  - 시스템이 커질수록 통계적 추론 문제로 결과 추정이 어려워짐
  - 큰 회로에서 잡음 완화가 실질적으로 불가능함
  - 현재 사용 중인 기법들도 자원 소모가 크고 확장성 문제를 겪고 있음
  - 양자 기계 학습(quantum machine learning), 및 변분 양자 알고리즘(variational quantum algorithms)을 포함한 다양한 단기 양자 응용 분야에 영향을 미쳐 성능을 제한하고 노이즈가 있는 상황에서 기하급수적 속도 향상을 불가능하게 만들 가능성 있음
- 연구의 의의 및 향후 방향
  - 오류 완화 기술 개발의 필요성 강조
  - 실제 환경에서의 적용 가능성을 평가하기 위한 추가 연구 필요
  - 잠재적으로 식별된 확장성 문제 극복 가능한 새로운 오류 완화 기술 탐색을 제안함
  - 실제 양자 컴퓨팅 환경을 면밀히 반영하는 보다 정확한 노이즈 모델과 통계적 방법 개발의 중요성을 강조함
  - 독일 베를린 자유대학교(Freie Universität Berlin), 연구 주도한 하버드 대학교(Harvard University) 연구팀

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/07/26/quantum-error-mitigation-may-face-hard-limits/>