

NISQ에서 FASQ로, QC 가능성에서 실용성으로 가는 험난한 길

(2025.11.10., 양자정보연구지원센터)

□ NISQ에서 FASQ로, 양자 컴퓨팅, 가능성에서 실용성으로 가는 험난한 길

○ 연구 개요

- 독일 베를린 자유대의 옌스 아이저트(Jens Eisert) 교수와 미국 캘리포니아 공과대학의 존 프레스킬(John Preskill) 교수는 arXiv에 게재한 논문에서, 현재의 NISQ(노이즈 중간 규모 양자컴퓨터) 단계에서 실질적 응용이 가능한 FASQ(결함 내성 응용 규모 양자컴퓨터)로 나아가기까지 상당한 기술적·개념적 도전이 남아있다고 분석함
- 연구진은 향후 10년간 양자컴퓨팅 발전이 오류 완화에서 능동 오류 정정으로, 제한적 정정에서 확장 가능한 결함 내성으로, 휴리스틱 알고리즘에서 검증 가능한 정형 알고리즘으로, 작은 규모 시뮬레이션에서 실질적 양자 우위 확보로 발전해야 한다고 제시함

○ 현재의 진전과 한계

- 초전도 큐비트, 이온트랩, 중성원자 기반 실험이 100큐비트를 넘어섰으며, 2큐비트 게이트 오류율은 0.1% 수준으로 감소하는 등 하드웨어 성능이 향상됨
- 그러나 안정적 계산을 위해 필요한 오류 정정에는 수백만 개의 물리 큐비트가 필요하며, 이는 현재 기술 수준으로는 실현이 어려움
- 연구진은 오류 완화 기법이 일시적 대안에 불과하며, 진정한 결함 내성은 고속의 고전 연산과 결합된 하이브리드 시스템에서 가능하다고 강조함

○ 결함 내성(Fault-tolerant)과 알고리즘 발전 방향

- 결함 내성 양자컴퓨팅은 물리적 오류율이 1/1000 수준 이하로 유지될 때 논리 오류를 지수적으로 줄일 수 있으나, 실제 구현에는 막대한 자원과 복잡한 피드백 과정이 필요함
- 연구는 초전도 회로, 이온트랩, 리드버그 배열 등 다양한 플랫폼이 각기 장단점을 가지며, 향후에는 이들을 결합한 새로운 아키텍처로 발전할 가능성을 제시함

○ 응용 전망 및 의미

- 실질적인 양자컴퓨팅의 첫 응용은 금융이나 암호가 아닌 물리, 화학, 재료과학 등 기초과학 분야에서 나타날 것으로 예상됨
- 초기 아날로그 시뮬레이터는 새로운 물질 상태를 탐구하고 있으나, 범용 계산으로의 확장은 결함 내성 비용이 크게 완화되어야 가능함
- 연구진은 양자컴퓨팅의 발전을 ‘혁명’이 아닌 ‘진화’로 규정하며, 메가쿼옴(megaquop) · 기가쿼옴(gigaquop) · 테라쿼옴(teraquop) 단계의 점진적 확장을 거쳐 실용적 양자 우위에 도달할 것이라 전망함
- 또한, 고전 컴퓨팅의 초기와 마찬가지로, 양자컴퓨팅의 가장 혁신적인 활용은 아직 상상되지 않은 영역에서 등장할 가능성이 높다고 결론지음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/11/01/nisq-to-fasq-quantum-computing-still-faces-a-climb-from-promise-to-practicality/>