

Alice & Bob과 Inria, 마법 상태 준비 효율성 향상

(2025.08.28., 양자정보연구지원센터)

□ Alice & Bob과 Inria, 마법 상태 준비 효율성 향상으로 실용적 양자 컴퓨팅 실현 앞당겨

○ 연구 개요

- Alice & Bob(결함내성 양자컴퓨팅 선도 기업)과 프랑스 국립 디지털과학기술연구원 Inria 연구진이 새로운 마법 상태(magic state) 준비 방법을 제안함
- 해당 연구는 초전도 양자컴퓨터에서 가장 하드웨어 효율적인 마법 상태 생성법으로, 실용적 양자 컴퓨팅 실현에 중요한 진전
- “*Unfolded distillation: very low-cost magic state preparation for biased-noise qubits*” (arXiv 공개)

○ 연구 배경 및 필요성

- 마법 상태(magic state)는 범용 양자 게이트 세트를 완성하기 위해 필요한 핵심 자원으로, 특정 연산(예: Shor, Grover 알고리즘 실행에 필요한 비자명 게이트)을 가능케 함
- 기존 마법 상태 준비는 많은 큐비트와 복잡한 정류(distillation) 과정이 요구되어 자원 소모가 매우 큼
- 구글 등 선행 연구: 최적 조건에서도 약 463 큐비트 필요 → 실험적으로 구현 어려움

○ 연구 성과, Alice & Bob과 Inria 연구팀은 3D 구조의 복잡한 오류 보정 코드를 2D로 “펼치는(unfold)” 방식 고안

- 결과적으로 “Heart Code“라는 독창적 형태 도출
- Alice & Bob이 개발한 ‘cat qubit’ (비트 플립 오류에 강한 noise-biased 큐비트) 특성을 활용

○ 성능 지표

- 단 53 큐비트만으로 하나의 마법 상태 생성 가능
- 기존 방식 대비 큐비트 요구량 8.7배 감소
- 오류 보정 사이클 수 5배 감소 → 약 5배 빠른 준비 속도 확보
- 오류율: 백만 번 중 1회 이하 수준 유지
- 연구 의의
 - 기존 초전도 플랫폼 대비 자원 소모를 획기적으로 절감 → 실용적 규모 양자 연산 가능성 강화
 - cat qubit의 잡음 편향(noise bias)을 적극 활용하여, 마법 상태 준비뿐 아니라 LDPC 코드 등 다른 고급 오류 보정과의 결합 가능성 제시
 - 추가적 기술 개발 불필요: 이미 Alice & Bob의 오류 보정 아키텍처에 포함된 구성요소(기본 게이트 + cat qubit)만으로 구현 가능
- 전문가 발언
 - “양자업계가 마법 상태 준비 비용 절감을 위해 다양한 돌파구를 마련해왔으며, 이번 연구는 noise-biased qubit 기반 접근법을 한 단계 진전시킨 사례” (Diego Ruiz, Alice & Bob & Inria 박사과정)
 - “유용한 양자컴퓨터로 가는 길목의 장애물이 해소되고 있음. 이 연구는 cat qubit 기반 플랫폼의 장기적 우위를 보여주며, Alice & Bob 로드맵의 위험을 낮춤” (Théau Peronnin, Alice & Bob CEO)
- 결론 및 전망
 - 마법 상태 준비라는 양자컴퓨팅의 병목 현상을 근본적으로 완화
 - 실용적 양자 알고리즘 실행(범용 게이트 세트 확보)에 한 걸음 더 접근
 - 향후: cat qubit 기반 오류 보정 체계와 결합 → 스케일업 가능한 범용 양자컴퓨터 실현, 초기 개념증명(proof-of-concept) 단계 실험 → 상용화 단계로 진입 가속 가능

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/08/06/alice-bob-and-inria-improve-efficiency-of-magic-state-preparation-to-enable-useful-quantum-computing/>