

ParityQC 연구팀, 대체형 양자 게이트 제시

(2025.08.25., 양자정보연구지원센터)

□ ParityQC의 새로운 양자 게이트 제안: Replacement-type Quantum Gates

○ 연구 개요

- ParityQC 연구진은 기존의 양자 게이트 설계 방식을 근본적으로 재구성한 replacement-type quantum gates를 제안함
- 해당 게이트는 회전 연산이나 쌍대 상호작용 없이, 미리 준비된 후보 큐비트들 중 목표 상태를 선택, 원래 큐비트를 대체하는 방식으로 작동
- Rydberg 원자 큐비트, 스핀 큐비트 등 다양한 하드웨어 플랫폼에서 구현 가능하며, 향후 fault-tolerant quantum computing으로의 전환을 크게 가속화할 잠재력을 가짐

○ 기존 방식과의 차별성

- **전통적 게이트:** 두 큐비트를 접촉시켜 상호작용과 회전 연산으로 상태 변화 유도
- **replacement-type 게이트:** 후보 큐비트가 가능한 결과 상태로 준비되어 있으며, 게이트 연산이 목표 상태를 선택 대체 → 회전 연산 불필요, 확장된 Hilbert 공간 활용
- 기존 no-go theorem이 금지한 “noise-bias-preserving 연산”의 한계를 우회할 수 있음

○ 노이즈 바이어스 보존의 장점

- 물리적 큐비트(예: 스핀, Rydberg 원자)는 특정 오류(예: 위상 뒤집힘) 비대칭성을 가짐
- 기존 게이트 세트(CNOT 분해 포함)는 이러한 비대칭성을 파괴 → 비대칭 오류 정정 코드 및 자원 절약형 QEC 가능

○ 초기 fault tolerance로의 기여

- Replacement-type X 게이트, CNOT 게이트의 구체적 예시 제시

(Rydberg 원자, 스핀 큐비트)

- 적은 오버헤드로 초기 단계에서 Fault tolerance 구현 가능
- 보존된 노이즈 바이어스를 활용하여 비대칭 코드, 심지어 고전적 코드 적용 가능 → 필요한 큐비트 및 연산 수 대폭 감소
- ParityQC 아키텍처와의 연계성
 - ParityQC 아키텍처 자체가 에러 정정 코드처럼 동작
 - 제안된 게이트 세트가 노이즈 바이어스를 유지한다면, 중복 부호화와 결합해 보다 실질적인 fault-tolerant quantum computing 구현 가능
 - 연구진은 이번 접근을 “기초적 전환” 으로 규정하며, 새로운 게이트 설계 패러다임의 잠재력을 강조
- 기술적 산업적 의미
 - 단순히 게이트 성능 향상이 아닌, 완전히 새로운 게이트 연산 클래스 제시
 - 초기 fault tolerance 달성을 현실적인 목표로 만드는 돌파구로 작용 가능
 - 국제 특허 출원 완료 → 기술적 독창성과 산업적 가치 확인
- 결론
 - 새로운 게이트 설계 패러다임 : 회전 불필요, 후보 큐비트 기반 대체 방식
 - 노이즈 바이어스 보존 : 효율적 QEC 가능, 자원 요구 대폭 감소
 - 실제 하드웨어 적용 가능성 : Rydberg 원자, 스핀 큐비트 등 다양한 플랫폼 적용
 - Fault tolerance 가속화 : ParityQC 아키텍처와 결합 시 초기 단계 fault tolerance 실현 가능

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/08/06/parityqc-physicists-introduce-novel-quantum-computer-building-blocks-replacement-type-quantum-gates/>