

QC 결과를 일반 컴퓨터로 검증할 수 있는 새 방법 개발

(2025.07.24., 양자정보연구지원센터)

□ 일반 컴퓨터로 양자 컴퓨터 결과를 검증할 수 있는 새로운 시뮬레이션 기법 개발

○ 배경 및 문제의식

- 양자 컴퓨터는 고전 컴퓨터로는 풀 수 없는 복잡한 문제를 해결할 수 있는 가능성을 가지고 있지만, 현재 가장 큰 기술적 장애물은 오류 수정 능력의 부족
- 양자 연산의 정확성을 보장하려면, 기존 컴퓨터를 통해 그 결과를 시뮬레이션하고 검증할 수 있어야 하지만, 그 계산 복잡도는 기존 슈퍼컴퓨터로도 감당하기 어려움
- 특히 오류 정정 코드가 적용된 양자 연산은 시뮬레이션이 더욱 어렵고, 현재까지 신뢰도 높은 고전적 시뮬레이션을 매우 제한적이었음

○ 연구 개요 및 성과

- 스웨덴 찰머스공대, 밀라노대, 그라나다대, 도쿄대 연구진은 오류 정정이 적용된 특정 유형의 양자 연산을 기존 컴퓨터로 시뮬레이션하는 세계 최초의 방법을 발표
- 이 방법은 Gottesman-Kitaev-Preskill(GKP) 보소닉 코드를 사용하는 양자 회로를 시뮬레이션할 수 있도록 설계됨
- GKP 코드는 고차원 진동 모드에 양자 정보를 저장, 잡음에 강하며, 여러 첨단 양자 컴퓨터 구현에 사용되는 주요 오류 정정 코드 중 하나임

○ 기술적 내용 및 적용 방식

- (양자 오류 정정의 핵심: 보소닉 코드 시뮬레이션) 큐비트는 중첩 상태를 이용해 뛰어난 계산 성능을 내지만, 진동, 전자기파, 온도 변화 등 외부 요인에 매우 민감함
- 오류 정정을 위해 양자 정보를 여러 서브시스템에 분산시키는 보

소닉 코드가 사용되며, 특히 GKP 코드는 무한한 에너지 레벨을 갖는 진동 시스템에 정보를 인코딩함

- 하지만 이러한 시스템은 시뮬레이션 복잡도가 매우 높아, 지금까지는 고전적인 컴퓨터로 구현하기 어려웠음
- (새로운 수학적 도구와 알고리즘 개발) GKP 코드 상태를 시뮬레이션할 수 있도록 하는 새로운 알고리즘과 수학적 도구를 개발함
- 기존 방법으로는 불가능했던 회로와 연산을 훨씬 더 효율적으로 고전 컴퓨터에서 시뮬레이션 가능
- 이 방법은 오류 정정이 적용된 양자 회로의 동작을 실험 전후에 검증하거나 비교할 수 있는 수단을 제공함
- (기대 효과 및 활용 전망) 양자 컴퓨터 결과의 검증 가능성이 높아짐에 따라, 안정적이고 확장 가능한 양자 컴퓨터 개발에 핵심적인 역할을 할 수 있음
- 새로운 시뮬레이션 기법은 실험적 양자 시스템의 오류 특성 분석, 알고리즘 검증, 하드웨어 설계 평가에 활용될 수 있음
- 기존에 테스트할 수 없던 오류 정정 기반 양자 연산들을 고전적으로 테스트하고 검증할 수 있는 경로가 열림
- 양자 시스템의 신뢰성 향상을 위한 돌파구
 - 이번 연구는 양자 오류 정정 연구에서 오랜 과제로 남아 있던 보소닉 코드 시뮬레이션의 현실적 해결책을 제시
 - 고전 컴퓨터를 통해 양자 연산의 결과를 신뢰도 높게 검증할 수 있는 기반을 마련함으로써, 실용적 양자 컴퓨팅 시대의 실현 가능성을 한 단계 끌어올림
 - 시뮬레이션 방법은 향후 다양한 양자 기술 플랫폼에 응용 가능 (*Physical Review Letters* 게재)

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/07/09/new-method-helps-researchers-check-quantum-computer-results-on-regular-computers/>