

양자 우위 통념 흔들 양자동역학 연구

(2026.06.09., 양자정보연구지원센터)

- 양자동역학 연구 진전, ‘양자우위(Quantum Supremacy)’ 주장 뒤
집고 새로운 연구 방향 제시
 - 양자우위성 주장에 대한 고전 컴퓨터 기반 반박
 - 미국 Flatiron Institute 산하 계산양자물리센터(CCQ)와 Boston University 연구진은 기존에 양자컴퓨터만 해결할 수 있다고 주장된 양자 동역학 문제를 고전 컴퓨터로 해결하는 데 성공함
 - 해당 연구는 기존 양자우위성(Quantum Supremacy) 주장에 도전하는 결과로 주목받고 있음(2025년 5월 학술지 Science에 발표)
 - 연구진은 개인용 노트북에서도 계산이 가능할 정도로 효율적인 새로운 계산 기법을 개발함
 - 연구 배경
 - 2025년 3월 다른 연구진은 수백 개의 큐비트가 얽힌 복잡한 양자 시스템의 동역학을 양자컴퓨터로 계산했다고 발표하며, 해당 문제는 고전 컴퓨터로는 해결할 수 없다고 주장함
 - 이에 대해 CCQ 연구진은 기존 고전 계산 기법의 가능성이 충분히 검토되지 않았다고 판단하고 문제 해결에 도전함
 - 연구진은 양자컴퓨터의 성과를 검증하는 동시에 고전 시뮬레이션 기술의 한계를 재평가하고자 함
 - 문제의 난이도
 - 연구 대상은 정사각형, 입방체, 다이아몬드 격자 구조에 배열된 수백 개 큐비트의 양자 동역학 시뮬레이션임
 - 양자 얽힘(Entanglement)으로 인해 큐비트들을 독립적으로 다룰 수 없으며, 시스템 전체를 하나의 거대한 파동함수(Wave Function)로 기술해야 함

- 입자 수가 증가할수록 파동함수 크기가 지수적으로 증가하여 일반적인 고전 컴퓨터로는 저장조차 어려워짐

○ 텐서 네트워크 기반 새로운 접근법

- 연구진은 텐서 네트워크(Tensor Network)를 활용하여 거대한 파동함수를 압축 저장하는 새로운 계산 기법을 개발함
- 연구진은 이를 “파동함수를 위한 압축 파일(zip file)”에 비유, 방대한 양자정보를 상호 연결된 작은 수치 테이블 형태로 표현함
- 특히 3차원 텐서 네트워크를 이용하여 기존에 매우 어려웠던 3차원 양자 동역학 시뮬레이션을 수행함
- 계산에는 CCQ가 개발한 고성능 텐서 네트워크 라이브러리 ITensor가 활용됨

○ Belief Propagation 알고리즘 활용

- 연구진은 1980년대에 개발된 Belief Propagation 알고리즘을 양자 시스템에 맞게 변형하여 적용함
- 해당 방법은 일부 근사 계산을 허용하지만 계산 비용이 매우 낮아 대규모 문제를 효율적으로 다룰 수 있음
- 기존의 고성능 수치해석 기법으로는 접근조차 어려웠던 대형 3차원 문제를 상대적으로 적은 계산 자원으로 해결

○ 연구 결과

- 고전 컴퓨터 기반 시뮬레이션 결과는 기존 양자컴퓨터 연구에서 보고된 결과와 일치함
- 또한 이론적 예측 및 소규모 검증 문제에서도 높은 정확도를 보이며 최신 수준(state-of-the-art)의 성능을 입증함
- 중요한 점은 이러한 결과를 얻는 데 실제 양자컴퓨터가 필요하지 않았다는 것임
- 연구진은 일부 계산을 일반 개인용 노트북에서 수행할 수 있었음을 강조함

○ 양자컴퓨팅과 고전컴퓨팅의 상호보완성

- 연구진은 이번 결과가 양자컴퓨터의 가치를 부정하는 것은 아니라고 설명함
- 오히려 양자컴퓨터가 제시하는 문제들이 고전 알고리즘 발전을 촉진하며, 반대로 고전 시뮬레이션 기술이 양자컴퓨터 연구 방향을 제시하는 상호보완적 관계가 존재한다고 평가함
- 양자 하드웨어 개발과 고전 알고리즘 연구가 함께 발전하면서 실제 양자우위성의 경계를 더욱 명확히 규정할 수 있을 것으로 전망

○ 연구 결과

- 연구진은 현재 큐비트 시스템을 넘어 전자가 격자 내에서 이동하는 전자 상관계(strongly correlated electron systems) 시뮬레이션으로 연구를 확대하고 있음
- 이는 초전도체, 양자물질 등 실제 물질 연구와 직접 연결되는 훨씬 어려운 문제로 평가됨
- 연구진은 새로운 텐서 네트워크 및 고전 알고리즘을 활용하여 이러한 난제를 해결하는 것을 다음 목표로 제시함

○ 결론

- 이번 연구는 기존에 양자컴퓨터만 해결할 수 있다고 주장된 문제를 고전 컴퓨터로 해결함으로써 양자우위성 주장에 대한 중요한 재검토 계기를 제공함
- 특히 텐서 네트워크와 고급 압축 기법을 활용해 고전 컴퓨팅의 잠재력을 크게 확장했다는 점에서 의미가 큼
- 향후 양자컴퓨터와 고전컴퓨터 간 성능 경쟁뿐 아니라, 양자물질 및 복잡한 양자계 연구를 위한 새로운 계산 방법론으로 발전할 가능성이 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/05/22/quantum-dynamics-advance-overturns-claim-of-quantum-supremacy-opens-new-research-directions/>