

중국, 확장 가능한 광자 양자 컴퓨팅 주요 장애물 극복

(2025.03.20., 양자정보연구지원센터)

- 중국 연구진, 확장 가능한 광자 양자 컴퓨팅을 위한 단일 광자 발생기 개발
 - 중국 과학기술대학교 연구팀은 확장 가능한 광자 양자 컴퓨팅에 필요한 효율성 기준을 충족하는 단일 광자 발생기를 개발, 이 분야의 오랜 기술적 장벽을 극복했다고 발표함
 - 효율성 71.2% 달성하고, 양자 오류 수정 기능이 작동할 수 있는 2/3 기준을 초과함(Nature 게재)
 - 해당 시스템을 낮은 오류율과 높은 구별 불가능성(indistinguishability)을 유지하며, 이는 신뢰할 수 있는 양자 연산에 중요한 파라미터임
 - 연구진은 이 결과가 대규모 광자 양자 컴퓨터 구축에 중요한 진전을 가져올 것이라고 보고함
 - 작동 원리
 - 광자 양자 컴퓨터는 계산을 수행하기 위해 빛의 개별 입자(광자)를 사용함, 광자는 빠르게 이동하고, 주변과 약하게 상호작용하며, 실온에서도 작동할 수 있어 매력적인 시스템임
 - 그러나 주요 문제는 광자 손실로, 이는 계산을 방해하고 오류 수정 기능이 제대로 작동하지 않게 함
 - 기존의 단일 광자 발생기는 필요한 효율성에 도달하지 못해 확장성에 한계를 가져왔음
 - 연구팀은 양자점(Quantum Dot)을 사용하여 이 문제를 해결, 양자점은 단일 광자를 방출할 수 있는 반도체 나노구조체로, 이를 열린 미세 공동(cavity) 안에 배치하여 광자 수집을 향상시켰음
 - 공동의 조정 가능성 덕분에 양자점과 방출된 광자 사이의 결합을 극대화하여 효율성을 높였고, 순도나 구별 불가능성을 희생하지

양음

○ 효율성 및 성능

- 이 시스템은 71.2%의 효율성과 98.56%의 광자 구별 불가능성, 그리고 2.05%의 매우 낮은 다중 광자 오류율을 달성
- 이러한 결과는 더 큰 양자 시스템을 구축할 수 있는 가능성을 열어줌
- 높은 효율성의 단일 광자 생성 능력은 오류 수정이 중요한 양자 컴퓨터의 내구성 있는 발전을 위해 필수적임
- 이번 연구 결과는 광자 양자 컴퓨터가 미래의 대규모 계산에서 오류를 수정할 수 있는 가능성을 보여줌

○ 양자 통신 네트워크

- 고효율의 단일 광자 생성은 오류 수정이 가능한 양자 컴퓨팅을 위한 중요한 요소임
- 양자 오류 수정이 없으면 양자 계산의 정확도는 스케일이 커질수록 기하급수적으로 떨어짐
- 이 새로운 광자 발생기는 양자 통신 네트워크 및 암호화 프로토콜에도 활용될 수 있음
- 연구팀은 이 접근법이 보존 샘플링(boson sampling)과 같은 양자 알고리즘에도 적용될 수 있다고 제안함

○ 완전 조정 가능한 공동 시스템

- 연구팀은 양자점을 고효율 개방 공동 시스템에 삽입하여 실험을 진행
- 이전의 설계들과 달리, 이 공동은 완전히 조정 가능하여 양자점과 광자 사이의 공간적 및 스펙트럼적 정렬을 최적화할 수 있음
- 공동은 상단 오목 거울과 하단 평면 거울로 구성되어 Fabry-Pérot 공동기로 작동하며, 이를 통해 광자를 트랩하고 향상시켜 쉽게 감지할

수 있게 함

- 또한 레이저 펄스를 사용해 양자점을 효율적으로 자극하고, 4켈빈의 온도에서 시스템을 냉각시켜 양자점의 성능을 안정화시킴
- 방출된 광자는 단일 모드 광섬유를 통해 수집되고, 초전도 나노와이어 단일 광자 탐지기로 측정됨

○ 제한 사항 및 향후 방향

- 연구팀은 현재 시스템이 저온에서만 작동하는 한계가 있음을 지적, 양자점은 안정성을 유지하기 위해 냉각이 필요하므로, 실온에서 작동할 수 있는 대체 재료나 설계를 탐구하고 있음
- 또한 현재 실험은 단일 양자점만 사용했기 때문에, 보편적인 양자 컴퓨팅에 필요한 다수의 큐비트를 확장하는 데 어려움이 있음
- 향후 연구는 다수의 양자점 또는 고밀관성으로 대량 생산 가능한 대체 광자 발생기를 통합해야 할 필요가 있음
- 또 다른 제한은 초전도 탐지기의 효율성이 79%에 불과한 점, 탐지 효율이 93.7%를 초과하면, 시스템 효율이 기준을 더 넘을 수 있을 것으로 기대됨
- 초전도 나노와이어 기술의 발전은 이러한 목표를 근시일 내에 실현 가능하게 할 것으로 보임

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/03/01/chinese-scientists-overcome-key-barrier-to-scalable-photon-quantum-computing/>