

# 새로운 큐비트 회로, 더 높은 정확도의 양자 연산 가능

(2023.10.05., 양자정보연구지원센터)

- 두 개의 플럭소늄 큐비트를 결합한 새로운 아키텍처 구현
  - MIT 연구원, 이전보다 훨씬 더 높은 정확도로 양자 컴퓨터의 구성 요소인 큐비트 간 연산 수행할 새로운 초전도 큐비트 아키텍처 시연
    - 일반적으로 사용되는 초전도 큐비트보다 수명이 훨씬 더 긴 플럭소늄(fluxonium)으로 알려진 새로운 유형의 초전도 큐비트 활용
    - 두 개의 플럭소늄 큐비트 사이에 특수 결합 요소가 포함된 아키텍처로 논리적 연산을 매우 정확한 방식으로 수행할 수 있는 게이트로 구성, 이는 양자 연산에 오류를 일으킬 수 있는 일종의 원치 않는 백그라운드 상호 작용 유형을 억제함
    - 99.9% 정확도를 초과하는 2큐비트 게이트와 99.99% 정확도를 갖춘 단일 큐비트 게이트가 가능해짐, 또한 확장 가능한 제조 공정을 사용하여 칩에 이 아키텍처를 구현(*Physical Review X*)
  - 플럭소늄 큐비트(fluxonium qubit)에 대한 새로운 해석
    - 고전 컴퓨터에서 게이트는 계산을 가능하게 하는 일련의 비트에서 수행되는 논리 연산, 양자 컴퓨팅에서 게이트는 같은 방식을 생각할 수 있음
    - 충실도(fidelity)는 이러한 게이트에서 수행되는 양자 연산의 정확도를 측정함, 양자 오류는 기하급수적으로 누적되므로 가능한 가장 높은 충실도를 가진 게이트가 필수적임
    - 대규모 시스템에서 수십억 개의 양자 연산이 발생하면 겉보기에는 작은 오류로 인해 전체 시스템이 빠르게 실패할 수 있음
    - 실제로 오류 수정 코드를 사용하여 낮은 오류율을 달성할 수 있음, 이러한 코드를 구현하려면 연산이 넘어야 하는 “충실도 임계값(fidelity threshold)” 이 있음, 충실도를 이 임계값 이상으로 높이면 오류 수정 코드를 구현하는 데 필요한 오버헤드 감소

- 10년 넘게 양자 컴퓨터 구축 노력에 주로 트랜스몬 큐비트 사용됨, 플럭소늄 큐비트는 또 다른 유형의 초전도 큐비트로 트랜스몬 큐비트보다 수명 또는 결맞음 시간이 더 긴 것으로 나타남
- 결맞음 시간은 큐비트의 모든 정보가 손실되기 전에 큐비트가 작업을 수행하거나 알고리즘을 실행할 수 있는 시간을 측정한 것임
- 큐비트의 수명과 큐비트가 축진하는 연산의 충실도는 서로 연결되어 있음, 매우 강력하고 충실도가 높은 게이트 지원이 가능한 아키텍처에서 수명이 긴 큐비트 사용 방법을 찾음, 플럭소늄 큐비트는 기존 트랜스몬 큐비트보다 약 10배 더 긴 1밀리초 이상의 결맞음 시간을 달성
- MIT 링컨 연구소(MIT-LL) ‘one-team model’, 플럭소늄 및 기타 새로운 큐비트 회로를 위해 100개 이상의 조셉슨 접합으로 구성된 조밀한 어레이 구축 능력 개발
- 더 강력한 연결
  - 양쪽 끝에 두 개의 플럭소늄 큐비트가 있고 중간에 이들을 결합하기 위해 조정 가능한 트랜스몬 커플러가 있는 회로가 포함됨
  - 플럭소늄-트랜스몬-플럭소늄(FTF) 아키텍처는 두 개의 플럭소늄 큐비트를 직접 연결하는 방법보다 더 강력한 결합을 가능하게 함
  - FTF는 양자 연산 중, 백그라운드에서 발생하는 원치 않는 상호작용을 최소화, ZZ 상호 작용으로 알려진 지속적인 배경 잡음 문제를 해결함
  - 백그라운드 상호 작용을 억제할 수 있는 능력과 플럭소늄 큐비트의 더 긴 결맞음 시간은 단일 큐비트 게이트 충실도(99.99%)와 2 큐비트 게이트 충실도(99.9%) 입증하는 두 가지 요소임
  - 확장 가능한 양자 컴퓨터를 구축하려면, 임계값을 훨씬 넘는 고품질 양자 연산을 갖추는 것부터 시작됨

(원문)

1. <https://news.mit.edu/2023/new-qubit-circuit-enables-quantum-operations-higher-accuracy-0925>