중성 원자 컴퓨터를 위한 큐비트 셔틀링과 시사점

(2023.05.22., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 상태를 유지하면서 큐비트 셔틀링 가능

○ **큐비트 셔틀(Qubit Shuttle)**, 얽힌 원자 배열의 일관성 있는 수송(*Nature*)

- QuEra Computing, MIT, Innsbruck 대학 과학자 포함 Harvard 주도 그룹, 중성 원자 배열 사용하는 대규모 양자 컴퓨팅 개발

○ 양자 상태 유지하면서 큐비트를 이동하는 기능인 일관된 큐비트 셔틀링

- 차세대 양자 컴퓨터 구축 방법에 큰 영향을 미침, 오류 수정, 다중 영역 아키텍쳐 및 확장

○ **오류 수정(Error correction)**

- 단일 이진수의 정보가 오류 수정을 위해 복제될 수 있는 고전 컴퓨팅과 달리, 양자 역학은 복사를 허용하지 않음(복제 불가 정리)
- 양자 오류 수정에는 중복성을 생성하기 위해 얽힘을 통해 여러 큐비트에 정보를 분산시키는 작업이 포함됨
- 상태를 유지하면서 큐비트를 이동할 수 있는 기능을 통해 근처 큐비트를 얽히게 할 수 있지만, 이렇게 얽힌 큐비트를 더 넓은 영역에 분산시킬 수 있음
- 영역 전체에 큐비트를 퍼뜨리는 오류 수정 코드 중 하나는 토릭 코드*, 논리 큐비트가 넓은 영역에 분사되어 있으므로 국부적 오류는 논리 큐비트의 작은 부분만 영향 미치므로 전체 양자 정보를 손상시키지 않고 오류 수정 가능

  ※ 토릭 코드(toric code): 논리 큐비트가 2차원 격자에 걸쳐 있는 방식으로 인코딩 됨

○ **다중 영역 작동(multi-zone operation)**

- 큐비트가 상태를 유지하면서 이동 가능하면 여러 영역을 포함하는 양자 컴퓨팅 아키텍쳐 개발이 가능함

- 논리 큐비트에서 양자 작업이 수행되는 처리 영역, 큐비트가 더 긴 결맞음 시간으로 더 안정적인 상태에 놓이는 메모리 영역, 오류 수정 및 조건부 실행을 위해 회로 중간에서 특정 큐비트 측정할 수 있는 측정 영역
- 큐비트 셔틀링으로 활성화된 큐비트는 필요에 따라 영역 안팎으로 이동 가능

○ **확장(Scale-up)**

- 개별 큐비트의 상태를 변경하고 다중 큐비트 작업을 수행하려면 제어 신호가 필요함, 큐비트 셔틀링을 통해 제어 신호를 증가시키지 않고도 큐비트 수 늘릴 수 있음
- 본질적으로 큐비트 셔틀링은 모든 큐비트 연결이 가능함, any-to-any 연결은 정보가 더 적은 정보로 전파될 수 있기 때문에 회로 압축이 가능함(큐비트가 가장 가까운 이웃에만 연결되는 고정 레이아웃 구성과 대조됨)

○ 오류를 보다 효과적으로 관리하면서 복잡한 계산과 더 큰 회로 처리 가능한 훨씬 더 유연하고 강력하며 효율적인 양자 컴퓨팅 아키텍쳐 허용함

□ QuEra, 중성 원자 배열 양자 컴퓨터 구축 플랫폼

○ 큐비트는 중성 원자로 구성(Rb), 레이저로 제어, 퍼핑(puffing) 원자로 계산 수행, 여러 큐비트 얽힘, 소형 규모로 발생, 유연한 구성, 큐비트 셔틀링(효율적인 메모리 버스 서비스 가능, 큐비트 전체 연결을 대규모로 허용)

○ 디지털 및 아날로그 양자 연산, 디지털 모드(디지털 게이트 기반, 복잡한 작업을 한번에 하나 또는 두 개 큐비트로 분해), 아날로그 양자 모드(노이즈 및 결맞음 문제 방지), 확장성 대 프로그래밍 가능성

(원문)

1. https://www.mckinsey.com/quantum-computing-an-emerging-ecosystem.pdf