

실용적인 양자컴퓨터 개발 경쟁, 큰 진전 이룬다

(2026.09.16., 양자정보연구지원센터)

□ 실용적인 양자컴퓨터 개발을 위한 세계적 경쟁이 큰 진전을 이룸

○ 대규모 트랩드 이온 양자컴퓨터 ‘Helios’ 개발

- 양자컴퓨터 개발 경쟁이 진행되는 가운데, 영국·미국의 양자컴퓨팅 기업 Quantinuum이 98큐비트 규모의 트랩드 이온(trapped-ion) 양자컴퓨터 Helios를 공개함
- Helios는 전자기장을 이용해 전하를 띤 원자(이온)를 진공 공간에 가둔 뒤 레이저 펄스로 연산하는 방식으로, 현재까지 구축된 가장 큰 규모의 트랩드 이온 양자컴퓨터임
- Quantinuum은 기존 32큐비트 시스템(2023년)과 56큐비트 시스템(2025년)에 이어 큐비트 수를 지속적으로 확대하고 있음

○ QCCD 구조를 통한 저장·연산 영역 분리

- Helios는 2002년 개발된 QCCD(Quantum Charge-Coupled Device) 아키텍처를 적용해 양자정보를 저장하는 영역과 연산하는 영역을 분리함
- 장치는 로제트(rosette) 형태로 구성되며, 저장용 링과 두 개의 연산 영역이 연결되는 “4방향 X자 교차점(X-junction)”이 핵심 구조임
- 이온을 전기적으로 저장 영역에서 연산 영역으로 이동시킨 후 레이저를 이용해 연산하는 방식으로, 큐비트가 고정된 위치에서 전기적 신호로 연산하는 초전도 큐비트 방식과 차이가 있음

○ QCCD 방식의 주요 장점

- 특정 큐비트에 대한 연산이 인접 큐비트에 미치는 영향을 줄여 “크로스토크(crosstalk)”를 감소시킬 수 있어 연산 정확도를 높

일 수 있음

- 연산 도중 큐비트를 측정하고 초기화할 수 있어 발생한 오류를 조기에 탐지·수정하는 양자 오류 정정에 유리함
- 저장 영역 내 서로 먼 위치에 있는 큐비트도 이동을 통해 연결할 수 있어, 장거리 큐비트 간 상호작용을 보다 효율적으로 구현할 수 있음

○ 하드웨어·소프트웨어 기술의 동시 발전

- Helios의 주요 기술적 진전은 4방향 X-junction을 이용한 병렬 처리와 이를 제어하는 소프트웨어에 있음
- 기존 QCCD 시스템은 이온을 한 방향의 선형 또는 고리 형태로 이동시키는 데 한계가 있었으나, X-junction을 통해 여러 작업을 동시에 수행할 수 있어 처리 효율을 높임
- 또한 새로운 고전 제어 소프트웨어인 Helios Runtime이 이온의 이동 및 연산 경로를 최적화하여 2차원 공간에서 가장 효율적인 경로를 선택하도록 지원함
- 하드웨어 구조와 제어 소프트웨어를 결합함으로써 대규모 양자컴퓨터의 연산 효율과 확장성을 높일 수 있는 기반을 마련함

○ 고전 슈퍼컴퓨터를 넘어서는 연산 가능성

- Helios는 알려진 방식으로는 대형 슈퍼컴퓨터에서도 합리적인 시간과 전력으로 수행하기 어려운 연산을 처리할 수 있는 능력을 시연함
- 다만 현재 수행된 연산은 주로 무작위 벤치마크 테스트에 해당하므로, 실제 과학·산업 분야에서의 실용적 가치가 입증된 단계로 보기는 어려움
- 실질적인 양자컴퓨팅 응용을 위해서는 현재보다 훨씬 큰 규모인 약 100만 큐비트 수준의 양자컴퓨터가 필요할 것으로 전망됨

○ 오류정정 양자컴퓨터 구현을 위한 과제

- 영국 국가양자전략은 1조 회 이상의 연산을 수행할 수 있는 **오류정정 양자컴퓨터(FTQC)** 구축을 목표로 하고 있으나, Helios가 수행한 최장 연산은 약 4,000개 연산을 98큐비트에서 수행한 수준임
- 향후 수천 개의 QCCD 장치를 연결하고 각 장치에 수천 개 이상의 큐비트를 탑재하는 대규모 시스템 구축이 필요함
- 2차원 격자 형태의 대규모 QCCD 시스템에서는 이온 이동 경로가 복잡해지면서 “큐비트 이동 정체(qubit jams)”와 같은 새로운 공학적 문제가 발생할 가능성이 있음
- 특히 이온을 정밀한 전압으로 물리적으로 이동시키는 과정 자체가 상대적으로 느리기 때문에, 큐비트 수가 증가할수록 시스템의 속도·제어 복잡성·안정성을 동시에 확보하는 것이 핵심 과제가 될 전망이다

○ 의의 및 전망

- Helios는 큐비트 수 확대뿐 아니라 **양자 하드웨어의 공간적 구조와 고전 제어 소프트웨어를 함께 최적화**했다는 점에서 대규모 양자컴퓨터 구현을 위한 공학적 진전을 보여줌
- 향후 실용적인 오류정정 양자컴퓨터를 구현하기 위해서는 Helios와 같은 개별 장치의 성능 향상과 함께 다수의 양자 프로세서를 연결하는 기술, 효율적인 큐비트 이동 및 제어 기술, 고성능 오류정정 기술 등이 함께 발전해야 할 것으로 보임

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/08/19/the-conversation-the-global-race-to-make-a-practical-quantum-computer-just-took-a-big-leap-forward/>