

오류 수정, 현재 양자컴퓨팅 산업의 핵심 과제

(2025.11.21., 양자정보연구지원센터)

□ 오류 수정, 현재 양자컴퓨팅 산업의 핵심 과제 보고

○ 연구 배경

- 실시간 양자 오류 교정(QEC)이 양자컴퓨팅 산업의 핵심 기술 장벽으로 부상
- Riverlane 주도, Resonance 협력 보고서 기반, 25명의 글로벌 전문가 인터뷰 포함
- 초기 잡음(qubit noise) 기반 실험 단계에서 전체 스택(full-stack) 신뢰성 있는 시스템 구축 단계로 전환

○ 산업 동향

- 오류 수정 연구 가속화, 내결함(fault-tolerant) 성능 관련 투자 증가
- 기업은 QEC를 단순 연구 성과 아닌 전략적 경쟁력 요소로 인식
- 하드웨어와 클래식 시스템 통합 필요: qubit이 생성하는 수백만 오류 신호를 마이크로초 내 처리
- 산업 전반이 물리 중심 문제 → 풀스택 엔지니어링 중심으로 전환

○ 기술적 과제

- 빠른 디코딩 하드웨어 구축, 제어 시스템 통합, 데이터 처리량 수백 TB/s
- 기업 대부분이 오류 교정을 시스템 설계 중심에 통합
- Surface 코드가 가장 성숙, 그러나 qLDPC, Bosonic, 혼합 코드 등 새 코드 관심 증가
- 논리 큐비트(logical qubit) 성능이 물리 큐비트(physical qubit)를 상회하는 사례 등장

○ 하드웨어 마일스톤

- 이온 트랩: 2-qubit 게이트 충실도 99.9% 이상
- 중성 원자: 초기 논리 큐비트 구현
- 초전도 큐비트: 대형 칩 안정성 향상

- 구글, 하버드, 산업 실험실에서 오류 교정 하드웨어 재현 가능성 확인
- 경쟁 환경 변화
 - 오류 억제(error mitigation) 중심 접근 감소, 오류 교정 중심 전환
 - 기업 수: 20 → 26, 30% 증가
 - 일부 기업은 코드 유형 및 워크플로우 실험, 다른 기업은 모듈화·전문화 전략 추진
 - 단일 큐비트 기술이 모든 응용 지배 불가 → 모듈화, 다양한 아키텍처 활용 예상
- 국가 투자 전략
 - 일본: 약 80억 달러, 미국: 77억 달러, 중국: 약 150억 달러 추정
 - 미국 DOD Quantum Benchmarking Initiative: 시스템 수준 검증 중심, 2033년 실용 규모 구매 목표
 - 유럽·캐나다: 검증 및 벤치마크 중심, 국가 테스트베드 활용, 국제 협력 확대
 - 지리정치적 경쟁: 큐비트 수가 아닌 전체 스택 비용·신뢰성 중심
- 인력 및 인력난
 - 글로벌 양자 인력: 약 20,000명, QEC 전담: 1,800~2,200명
 - 채용 난항: 공석의 절반~2/3 미충원
 - 2030년까지 QEC 전문가 수요 수배 증가 예상
 - 필요 역량: 실시간 시스템, 디코딩 하드웨어, 머신러닝·신호 처리·칩 설계
 - 기존 물리학 교육만으로는 수요 충족 불가 → 고전 공학전문인력 필요
- 향후 방향
 - 다음 단계: 시스템 통합 중심, 단순 큐비트 수 증가는 제한적
 - 모듈화 접근: 소규모 단위 연결, 양자 네트워크 활용
 - 비용 효율성과 신뢰성 중심의 아키텍처가 상용화 성공 핵심
 - 국가 전략, 산업 전략 모두 경제적, 실용적 QEC 기반 유틸리티 규모 컴퓨터 목표

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/11/19/quantum-report-says-error-correction-now-the-industrys-defining-challenge/>