

새 시뮬레이터, 양자 알고리즘 검증에서 고전적 한계 돌파

(2025.10.29., 양자정보연구지원센터)

□ qblaze: 고전 컴퓨터로 양자 알고리즘 테스트 한계 확장

○ 연구 배경과 필요성

- 양자컴퓨터는 암호학, 화학, 머신러닝 문제 해결에서 혁신을 약속하지만, 현존 NISQ(Noisy Intermediate-Scale Quantum) 기기는 작은 규모와 오류로 인해 실용적 사용이 어려움
- 따라서 대부분의 양자 소프트웨어 연구는 고전 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 진행됨
- 기존 시뮬레이터는 qubit 수가 늘어날수록 메모리와 연산량이 지수적으로 증가, 특히 40-qubit 시스템은 1조 개 이상의 복소수 표현 필요 → 슈퍼컴퓨터도 부담

○ qblaze의 개발 목표와 특징

- qblaze는 INSAIT, ETH Zurich, Oxford 공동 연구팀이 개발한 대규모 희소(sparse) 양자 시스템 시뮬레이터
- 희소성(sparsity) 활용: 상태 벡터에서 0이 아닌 값만 저장·연산 → 메모리 사용량과 연산 시간 대폭 절감
- 다중 CPU 코어 활용: 최대 180코어까지 효율적 분산 처리, 기존 희소 시뮬레이터 대비 최대 120배 빠른 성능 달성
- 기존 해시 테이블 방식과 달리, 정렬된 인덱스-진폭 배열(sorted index-amplitude pairs) 사용 → 데이터 접근 효율과 캐시 활용 극대화, 멀티스레드 병목 최소화

○ 작동 원리와 기술적 혁신

- Sparse Array Encoding: 모든 진폭 저장 대신 0이 아닌 값만 저

장, 공간적 근접성 확보 → 연산 효율 상승

- Parallel Transform Algorithm (merge-apply-partition): 양자 게이트 적용 시 메모리 두 번만 스캔 → 코어 수 확장 시 작업 균형 유지, idle time 최소화
- 양자 게이트 연산: 단일·다중 qubit 게이트와 측정을 그룹화하여 정렬 오버헤드 감소 → 성능 향상
- CPU 기반 멀티코어 환경에서 대규모, 복잡한 양자 연산 병렬 수행 가능

○ 성능 검증 및 벤치마크

- QASMBench 벤치마크에서 기존 희소 시뮬레이터 대비 최대 100배 이상 빠른 성능
- “Binary welded tree” 37-qubit 테스트 유일하게 수행 가능 → 현실적 양자 알고리즘 시뮬레이션 한계 극복
- Shor 알고리즘 39-bit 소인수분해 성공: 기존 GPU 기반 shorgpu 시뮬레이터(2,048 GPU) 대비 2 CPU, 각 90코어만 사용 → 효율성과 확장성 입증

○ qblaze의 의의와 활용 분야

- 복잡하고 희소한 양자 회로를 고가 특수 하드웨어 없이 로컬 CPU에서 디버깅 가능
- 수학, 최적화, 양자 화학 등 희소 구조 기반 알고리즘 개발에 적합
- 양자 알고리즘 연구와 실제 응용 간 격차(Theory ↔ Practice) 해소
- 기존에는 클라우드 기반 특수 시뮬레이터나 초기 양자 장치 접근 필요 → 비용·제한 문제 존재

○ 제한점과 향후 계획

- qblaze는 희소 회로에 최적화되어, 밀집 회로(dense circuits) 에서는 여전히 메모리와 연산량 한계 존재.
- 주로 공유 메모리 시스템(shared-memory) 용 설계 → 분산 시스템(supercomputer/cluster) 적용 시 추가 최적화 필요.
- 향후 계획:
 - GPU 가속 지원으로 확장성 향상
 - 하이브리드 양자-고전 워크플로우 통합
 - 고수준 양자 프로그래밍 프레임워크와 연계

○ 결론

- qblaze는 고전 컴퓨터 환경에서 양자 알고리즘 검증과 디버깅의 새로운 지평을 열었음
- 효율적 희소 데이터 처리와 병렬화 설계로, 대규모 양자 회로의 실용적 시뮬레이션 가능
- 이는 현실적 양자 소프트웨어 개발, 알고리즘 검증, 미래 양자 컴퓨터 활용을 크게 촉진할 기술적 기반으로 평가됨

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/10/13/new-simulator-pushes-classical-limits-on-quantum-algorithm-testing/>