

칩렛 기반 모듈형 시스템 양자 컴파일러 개발

(2025.02.13., 양자정보연구지원센터)

□ 칩렛 기반 모듈형 시스템의 속도와 신뢰성을 높이는 양자 컴파일러 개발

- 칩렛 기반 양자 컴퓨팅과 SEQC 컴파일러 개발
 - 노스웨스턴 대학 연구진, 칩렛(chiplet)기반 모듈형 양자 컴퓨터의 속도 및 신뢰성을 향상시키는 양자 컴파일러(SEQC) 개발
 - SEQC(Stratify-Elaborate Quantum Compiler) 활용 시 회로 충실도 최대 36% 향상, 실행 속도 1.92배 증가, 컴파일 속도 2~4배 증가
 - 연구 결과는 arXiv에 게재되었으며, 향후 검증 및 확장이 기대됨
- 칩렛 기반 모듈형 양자 시스템의 필요성
 - 기존 단일 프로세서(monolithic architectures)의 확장 한계를 극복하기 위해 작은 칩렛을 연결하는 모듈형 시스템이 대안으로 부상
 - 칩렛 방식은 제조 및 유지보수가 용이하며, 대형 양자 프로세서 구축에 적합
- 칩렛 시스템의 주요 문제점
 - 칩렛 간 연결 품질의 변동성이 커서 양자 프로그램 실행 속도와 오류율에 부정적 영향
 - 칩렛 간 연결이 제한적이며, 모든 기본 게이트(basis gate)를 동일하게 지원하지 않음
 - 기존 양자 컴파일러는 칩렛 간 연결성을 고려한 최적화를 효과적으로 수행하지 못함

□ SEQC 양자 컴파일러의 핵심 기술

- SEQC의 두 가지 주요 단계
 - 계층화(Stratification): 양자 프로그램을 칩렛 구조에 맞게 소규모

서브서킷(subcircuit)으로 분할

- 초기 1회 수행하는 과정으로, 이후 동일한 모듈형 시스템에서 재사용 가능
- 세부화(Elaboration): 서브서킷을 각 칩렛에 최적화하여 독립적으로 컴파일
- 병렬 처리가 가능하여 전체 컴파일 속도 대폭 향상

○ SEQC 최적화 전략

- 기존 모놀리식 시스템 중심 최적화에서 모듈형 구조의 강점을 활용하는 방식으로 전환
- 칩렛 간 통신을 최소화하고, 각 칩렛에 적절한 연산을 배치하여 성능 최적화

○ SEQC 성능 개선 지표

- 회로 충실도(Fidelity) 최대 36% 증가 -> 오류 감소 및 신뢰성 향상
- 양자 회로 실행 속도 최대 1.92배 향상 -> 큐비트 결잃음 영향 감소
- 컴파일 속도 2~4배 증가 -> 병렬 처리 활용으로 연산 부담 감소
- (실험 환경) 최대 800개의 큐비트와 80개의 칩렛을 포함한 시뮬레이션 환경에서 테스트 진행
- 기존 컴파일러 대비 큐비트 수가 증가할수록 SEQC의 성능 우위가 더욱 두드러짐

○ 양자 소프트웨어 개발 패러다임 전환

- 기존 양자 소프트웨어를 단일 프로세서 기반이 아닌 모듈형 하드웨어 구조에 맞춰 재설계할 필요성 강조
- 병렬 처리 기술을 활용하여 컴파일 성능을 높이고 실시간 최적화 가능성 제시

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/07/03/quantum-wi-fi-future-quantum-tech-could-power-super-secure-wireless-communication/>