

큐비트와 로봇의 만남, 양자 회로 복잡한 계산 속도 향상

(2025.09.03., 양자정보연구지원센터)

□ 큐비트와 로봇의 만남: 양자 회로가 복잡한 로봇 팔 계산을 가속

○ 연구 개요

- 연구진: 시바우라 공과대, 와세다대, 후지쓰(발표: Scientific Reports)
- 주제: 역기구학(inverse kinematics, IK) 문제를 양자-고전 하이브리드 방식으로 해결
- 목적: 로봇 팔이 목표 위치에 도달하기 위한 관절각(joint angles) 계산을 더 빠르고 정확하게 수행

○ 배경, 역기구학이 어려운 이유

- 순기구학(Forward kinematics, FK): 관절각 → 손끝 위치 계산
- 역기구학(IK): 목표 위치 → 필요한 관절각 역산
- 문제점: 로봇은 자유도(DOF)가 많아질수록 가능한 해가 무수히 많음 → 최적 해를 고르는 과정이 계산 집약적

○ 양자적 접근(Quantum Twist)

- 각 관절을 큐비트로 매핑
- 양자 회전 게이트 (RX, RY, RZ) → 실제 로봇 관절 회전 모사
- 두 큐비트 얽힘 게이트(RXX, RYY, RZZ) → 부모-자식 링크 간 물리적 상호작용 모델링
- 고전적 최적화 알고리즘(COBYLA)과 결합하여 반복 수행

○ 주요 실험 결과

- 시뮬레이션 (2링크 로봇, 6 DOF) :
- 얽힘 없는 경우: 30회 반복 후에도 0.5m 오차

- 얽힘 포함: 단 8회 반복만에 정확한 해 도출
- Fujitsu mpiQulacs 시뮬레이터에서도 동일한 경향 확인
- 실제 양자컴퓨터(64큐비트 초전도 칩)
- 노이즈로 정확도는 낮아졌지만, 얽힘 포함 회로가 43% 오차 감소
- 시뮬레이션 결과와 동일한 개선 효과 입증

○ 의의와 한계

- (의의) IK 문제의 반복 횟수와 계산 시간을 줄여 실시간 제어 가능성 향상
- 로봇의 더 유연한 동작, 장애물 회피, 외부 힘 대응 개선
- “구조적(Structural) 양자 우위“의 초기 사례 → 단순 계산속도 향상이 아니라 문제를 양자 하드웨어에 직접 부호화
- (한계) 현재는 회전 관절만 가능 (선형 관절은 불가)
- 부모-자식 관계만 반영, 양방향 영향은 모델링 미비
- 실제 하드웨어의 노이즈 문제 존재
- 양자 계산 과정 자체의 오버헤드 고려 필요

○ 향후 방향

- 양자 푸리에 변환(QFT) 으로 더 복잡한 의존성 인코딩
- 병렬화로 속도 향상
- NISQ 한도 내에서 더 복잡한 로봇(예: 휴머노이드) 모델링 가능

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/08/13/qubit-meet-robot-quantum-circuits-could-speed-up-robotic-arm-calculations-especially-for-complex-movements/>