

양자 하드웨어에서 확장 가능한 양자 신경망 학습 구현

(2026.07.12., 양자정보연구지원센터)

□ IONQ 공동연구진, 양자 하드웨어 기반 확장형 양자 신경망 학습 기술 시연

- IonQ · 프랑스 국립과학연구센터(CNRS) · 파리시테대 · QC Ware · Quantum Signals 공동연구진, 양자 하드웨어에서 확장 가능한 양자 신경망(QNN) 학습 프레임워크 개발
 - 연구 결과는 사전 공개 논문 저장소 arXiv에 공개, 실제 IonQ Forte Enterprise 트랩 이온 양자컴퓨터에서 직접 학습을 수행해 성능을 검증
 - 양자 신경망 학습 과정에서 가장 큰 부담이었던 그래디언트(Gradient) 계산 비용을 크게 줄여 실제 양자 하드웨어 학습 가능성을 제시
- 그래디언트 계산 복잡도를 획기적으로 감소
 - 기존 파라미터 시프트(Parameter Shift) 방식은 학습 파라미터마다 별도 양자회로를 반복 실행해야 해 큐비트 수가 증가할수록 계산량이 급격히 증가
 - 연구진은 계산량을 큐비트 수의 제곱 수준에서 로그(log) 수준으로 감소시키는 새로운 학습 구조를 제안
 - 128큐비트 모델의 경우 기존 방식은 1,792회의 회로 실행이 필요하지만, 제안 기법은 28회만으로 그래디언트를 계산할 수 있는 것으로 분석
- 세 가지 핵심 기술을 결합한 학습 프레임워크 제안
 - 버터플라이(Butterfly) 회로 구조를 적용해 적은 파라미터로도 큐비트 간 정보를 효율적으로 전달
 - 전체 모델을 한 번에 학습하는 대신 계층별(Layer-wise) 학습을 적용해 학습 안정성과 확장성을 확보
 - 동일 계층의 게이트를 병렬 처리하는 병렬 파라미터 시프트 기법을 도입해 그래디언트 계산을 대폭 단순화

○ 실제 의료 데이터로 성능 검증

- 중환자실 임상 데이터셋 MIMIC-III를 활용해 결측치(Data Imputation) 복원 성능을 평가
- 환자 생존 예측 정확도(AUC)를 기준으로 성능을 비교한 결과, 16큐비트와 32큐비트 하이브리드 양자 모델은 각각 0.7147, 0.7132를 기록
- 최고 성능의 기존 딥러닝 모델(Deep MICE, 0.7176)과 매우 유사한 수준의 성능을 보였으며, 반복 실험에서는 결과 변동성이 더 낮은 것으로 나타남

○ 실제 양자 하드웨어에서도 안정적 학습 확인

- 연구진은 16큐비트 모델의 마지막 학습 단계를 IonQ Forte Enterprise 양자컴퓨터에서 직접 수행
- 이상적인 시뮬레이션, 잡음이 포함된 시뮬레이션, 실제 양자 하드웨어를 비교한 결과 세 방식 간 성능 차이는 통계적으로 유의미하지 않음
- 이는 제안한 학습 기법이 현재 수준의 양자 하드웨어 잡음 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있음을 보여주는 결과로 평가

○ 32큐비트 확장성 확인

- 32큐비트 모델은 행렬곱상태(Matrix Product State, MPS) 텐서 네트워크 시뮬레이션으로 학습한 뒤 추론은 실제 IonQ 하드웨어에서 수행
- 동일 규모의 기존 신경망과 유사한 성능을 유지하며 대규모 양자 신경망으로의 확장 가능성을 확인

○ 연구 의의 및 한계

- 이번 연구는 실제 양자 하드웨어에서 확장 가능한 그래디언트 기반 양자 신경망 학습을 구현했다는 점에서 의미가 있음
- 다만 의료 데이터 일부 결측치 복원만 수행한 개념 검증 단계로, 기존 최고 성능의 AI 모델을 능가하지는 못했음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2026/06/09/researchers-demonstrate-scalable-quantum-neural-network-training-on-quantum-hardware/>