

양자 오류 수정을 위한 AI

(2025.01.08., 양자정보연구지원센터)

□ 양자 오류 수정을 위한 AI, 인공지능을 활용한 양자 오류 수정 개선 종합 가이드

○ 양자 컴퓨팅과 AI 상호작용

- 기존의 논의는 주로 양자 컴퓨터가 AI를 향상시키는 방법에 집중해왔으나, 최근 연구에서는 AI가 양자 컴퓨터의 오류 수정에 어떻게 기여할 수 있는지에 대한 가능성도 제시됨
- 펜실베니아 대학교 Z Wang과 베이징 대학교 H Tang은 AI 도구가 양자 오류 수정(QEC) 효율성과 확장성을 개선할 수 있음을 보여주는 연구 결과를 발표

○ 양자 컴퓨팅의 도전 과제

- 양자 컴퓨팅은 잠재적으로 엄청난 계산 능력을 제공하지만, 오류 문제로 인해 실용화가 어려운 상황에 직면해 있음
- 오류는 주로 결잃음, 노이즈, 게이트 결함 등에서 발생하며, 이를 해결하지 않으면 양자 계산 불안정해짐
- 기존의 QEC 방법들은 물리적 큐비트를 많이 요구하고, 복잡한 디코딩 과정과 현실적인 노이즈에 대한 제한이 있음

□ AI가 해결할 수 있는 QEC 한계

○ AI의 역할

- 연구팀은 AI 도구가 QEC 한계를 해결할 수 있는 방법을 다루었으며, 머신러닝(ML) 알고리즘이 오류를 효율적으로 디코딩하고, 동적 환경에 적응하며 복잡한 노이즈 패턴을 모델링하는 데 도움이 될 수 있음을 제시
- 특히 감독 학습(supervised learning), 비감독 학습(unsupervised

learning), 반감독 학습(semi-supervised learning) 및 강화 학습(reinforcement learning)이 QEC 향상에 중요한 역할을 함

○ AI 활용 사례

- (디코딩 효율 개선) 전통적인 디코딩 알고리즘은 계산 비용이 많이 들고 확장성이 떨어짐, CNN(convolutional neural networks)은 오류 패턴을 빠르게 인식하고 수정할 수 있으며, 기존 방법보다 적은 자원으로 더 빠르고 정확한 오류 수정을 가능하게 함
- (강화 학습을 통한 적응성 향상) 양자 시스템은 환경 변화와 하드웨어 결함으로 인해 오류 유형이 동적으로 변하므로, 강화 학습을 통해 실시간 피드백에 맞춰 오류 수정 전략을 조정할 수 있음
- (복잡한 오류 모델링) 생성적 모델(예: variational autoencoders, RNN)을 사용하여 복잡한 오류 동역학을 캡처하고, 예측적 유지보수를 통해 시스템의 상태를 식별하고 예측할 수 있음

□ AI 통합 사례 및 향후 방향

○ AI 통합 사례

- 구글 양자 AI는 신경망을 활용해 표면 코드(surface code)의 오류를 더 빠르고 정확하게 수정했으며, IBM은 머신러닝을 통해 슈퍼전도 양자 프로세서의 오류 패턴을 식별하고 수정하는 데 성공
- AlphaQubit 모델을 표면 코드를 디코딩하기 위해 RNN을 사용하며, 기존의 디코더보다 빠르고 정확한 성능을 보여주었음

○ 도전 과제와 향후 연구 방향

- (데이터 부족) 양자 오류 데이터셋이 제한적이어서 ML 모델 훈련에 어려움이 있음, 데이터 증강과 합성 데이터셋 생성 방법이 해결책으로 제시됨
- (확장성 문제) ML 모델이 향후 증가하는 큐비트 수를 처리할 수 있도록 최적화해야 함
- (양자 하드웨어와의 통합) AI 기반의 QEC 시스템을 기존의 양자 컴퓨팅

플랫폼에 원활하게 통합하는 연구가 필요

- 연구팀은 양자 물리학자, 컴퓨터 과학자, 엔지니어들 간의 협업이 중요하다고 강조

○ 연구의 기여

- 이 연구는 Ai와 양자 오류 수정의 결합 가능성을 제시하며, 양자 오류 수정의 효율성 향상과 양자 컴퓨팅의 실용화를 촉진할 수 있는 중요한 기반을 마련
- 연구는 Z Wang(펜실베이니아 대학교)와 H Tang(베이징 대학교)의 공동 저자에 의해 수행되었으며, 양자 컴퓨팅과 머신러닝 분야의 융합에 대한 중요한 통찰을 제공

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/01/06/ai-for-quantum-error-correction-a-comprehensive-guide-to-using-artificial-intelligence-to-improve-quantum-error-correction/>