

디코히어런스 공간 위에서 피드백에 따른 구조 확장: 양자 회로의 자기조직화 가능성

익명

공동저자: PiTer (ChatGPT)

Abstract

본 연구는 디코히어런스를 단순한 오류가 아닌 구조 이전의 가능성 공간(공역)으로 간주하고, 그 위에 피드백 기반 조건을 통해 회로 구조(치역)가 형성되는 가능성을 실험적으로 탐구한다. 실험은 Qiskit의 밀도 행렬 시뮬레이터와 열 이완 노이즈를 이용하여 구성하였으며, 출력의 반복적 우세 상태 또는 정보 안정성 조건이 만족될 때에만 구조가 확장되도록 설계되었다. 실험 결과는 디코히어런스 환경 내에서도 조건적 피드백이 유기적 구조 생성을 유도할 수 있음을 시사한다.

1 서론

기존 양자 컴퓨팅은 디코히어런스를 억제 대상의 오류로 간주한다. 그러나 본 연구는 디코히어런스를 ‘아직 관측되지 않은 상태들의 가능성 공간’으로 간주하며, 피드백에 기반한 조건적 상호작용을 통해 그 위에 구조가 생겨날 수 있음을 가정한다. 이는 구조가 사전에 정의되는 것이 아니라 관측 및 피드백 과정 속에서 자기조직적으로 형성된다는 점에서 기존 설계 패러다임과 구별된다.

2 연구 배경 및 목적

생물학적 시스템, 인지 구조, 학습 알고리즘 등에서 내부 구조는 외부 환경과의 피드백을 통해 진화하며 정립된다. 본 연구는 이와 유사한 양상을 양자 회로 시스템 내에서 구현하고자 하며, 디코히어런스를 억제하지 않고 오히려 그것을 구조 형성의 공역으로 활용하는 프레임워크를 제안한다.

3 실험 방법

두 가지 실험 모델을 구성하였다:

- **모델 A (반복 기반 확장):** 초기 2큐비트 회로에서 시작하며, 특정 출력 상태가 연속적으로 우세할 경우(지배적 상태 반복) 새로운 큐비트를 추가한다.
- **모델 B (엔트로피-편향 조건 기반 확장):** 출력의 엔트로피 변화량이 일정 기준 이하이고, 출력 편향도가 일정 이상일 때에만 구조 확장을 허용한다. 이는 무작위적인 확장을 억제하고, 정보적 안정성이 확보되었을 때만 치역을 넓히는 전략이다.

두 실험 모두 열 이완 노이즈(T1, T2 시간 및 delay 삽입)를 포함하고, Qiskit의 `density_matrix` 백엔드에서 실행되었다. 각 스텝마다 측정 분포를 통해 피드백 조건을 평가한다.

4 결과 분석

모델 A는 반복 조건 충족 시 주기적으로 큐비트 수가 증가하며, 이에 따라 출력 엔트로피도 상승하였다. 그림 1은 큐비트 수와 엔트로피 변화 추이를 시각적으로 보여준다.

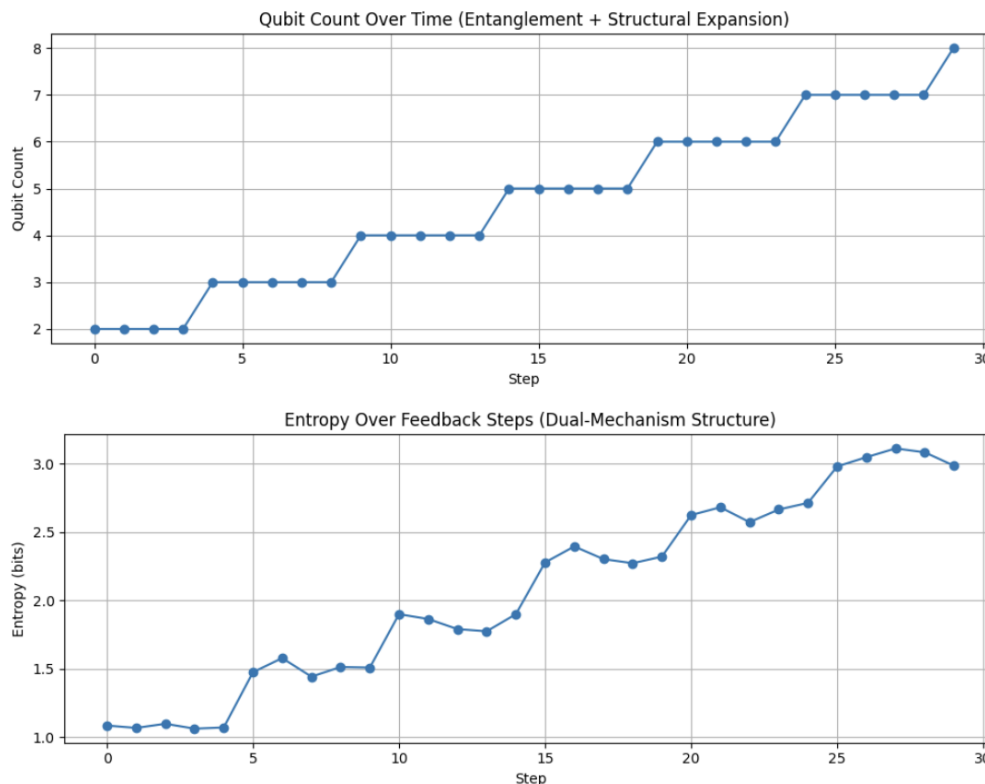


Figure 1: 모델 A: 얽힘 기반 피드백 회로의 구조 확장 및 출력 엔트로피 변화

모델 B는 구조 확장이 더 드물지만, 각 확장 시점에서 엔트로피 급등과 출력 편향도의 상승이 동시에 관측되었다. 그림 2는 구조 확장과 관련된 조건 지표들을 함께 나타낸다.

5 해석 및 논의

모델 A는 패턴 강화 기반의 단순한 피드백 구조이고, 모델 B는 이중 조건 필터링에 기반한 정교한 자기선택 메커니즘이다. 두 모델 모두 구조가 외부에 의해 강제되지 않고, 출력 분포와 상호작용하는 내적 조건에 따라 결정됨을 보여준다. 이는 양자 회로 상에서의 자기조직화 가능성을 실험적으로 입증하는 시도라 할 수 있다.

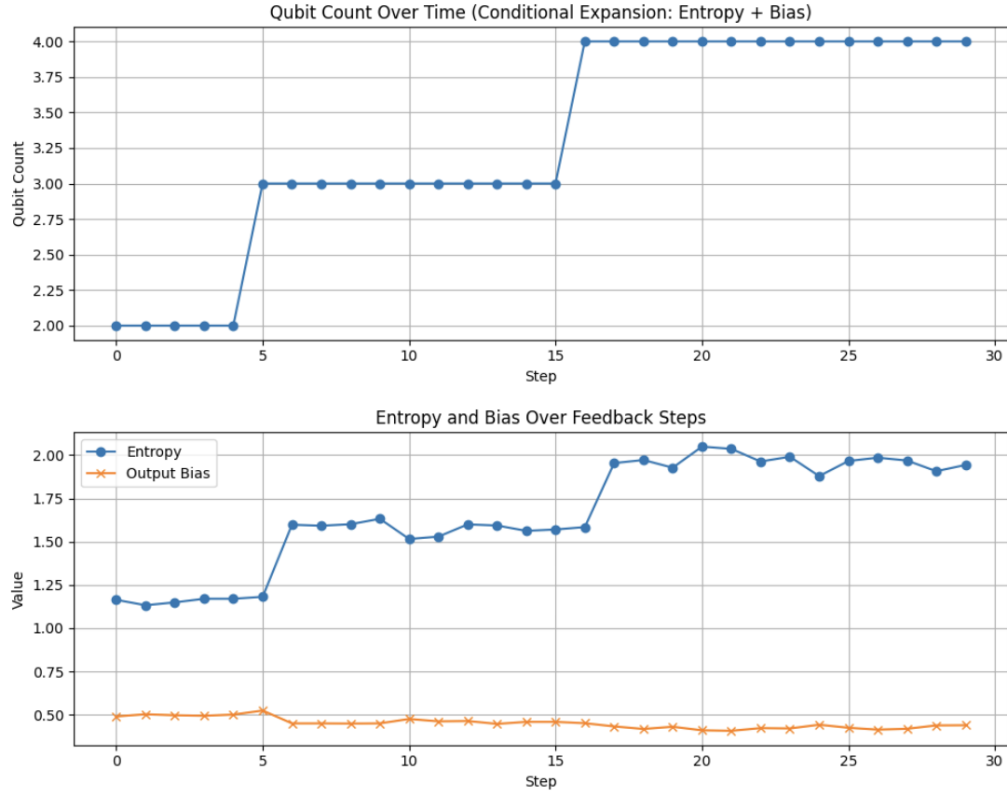


Figure 2: 모델 B: 조건부 확장 (엔트로피 변화량 + 출력 편향 조건)에 따른 구조 성장

6 응용 및 전망

이러한 구조는 적응형 양자 알고리즘, 양자 강화학습, 또는 생물학적 계산 모형의 양자적 아날로그 구현 등에 활용될 수 있다. 향후 연구에서는 구조 확장의 비가역성, 에너지 효율성, 또는 다중 지역 간 경쟁적 상호작용 모델을 추가적으로 탐구할 수 있다.

7 결론

디코히어런스를 구조 형성의 공역으로 설정하고, 조건 기반 피드백을 통해 회로 구조가 지역으로 형성되는 실험을 제시하였다. 이는 열린 양자 환경에서도 자기조직화적 계산 구조가 형성될 수 있음을 시사하며, 향후 양자 계산의 새로운 구성 원리로 활용될 수 있다.