

# 노이즈 적응형 양자 알고리즘 개요

(2025.06.19. 양자정보연구지원센터)

## □ 노이즈 적응형 양자 알고리즘(NAQA) 개요

- NAQA(Noise-Adaptive Quantum Algorithm)는 노이즈 억제가 아닌 노이즈를 활용하는 방식으로, 근미래 양자 하드웨어에서 불완전한 출력들을 정보로 재활용해 해를 개선하는 새로운 접근
  - 기존의 양자 최적화는 단일 에너지 최저 상태만은 추구했으나, AQA는 다수의 샘플로부터의 패턴 추출을 통해 최적화 문제를 재구성하여 새로운 유망 해로의 유도를 시도
- 작동 원리 및 고전적 유사성
  - 고전적 CEM(Cross-Entropy Method)와 유사하게, NAQA는 반복적으로 샘플을 생성하고 우수한 샘플을 기반을 탐색을 조정
  - 주요 차이점은 CEM은 노이즈를 평균 처리하는 반면, NAQA는 노이즈 자체를 해를 유도하는 힌트로 적극 활용
  - 기존 ADAPT-VQE, ADAPT-QAOA 등은 구조 적응형으로, 노이즈 활용 목적은 없고 무노이즈 시뮬레이션에만 검증됨
- NAQA 기본 프레임워크
  - **샘플 생성**: 양자 프로그램으로부터 다수의 샘플 생성
  - **문제 재구성**: 다수 샘플에서 **매력 상태(attractor state)** 추출 후 비트 반전 게이지 변환, 샘플 간 상관관계 기반으로 일부 변수 고정
  - **재최적화**: 재구성된 문제를 기반으로 재탐색
  - **반복 수행**: 수렴하거나 더 이상 개선되지 않을 때까지 반복
  - 탐색-활용(exploration vs. exploitation)의 전형적 균형 문제와 유사함
  - 추가 계산 비용이 있지만, 표준 QAOA 대비 더 우수한 해 품질을 도출함
- 주요 연구 계보

- 시초: Quantum-Assisted Greedy Algorithm(D-wave에서 테스트됨)
- 이후 발전 흐름:
  - Noise-Directed Adaptive Remapping(NDAR): 핵심 개념 도입
  - NDAR 딜레이-게이트 기반 개선
  - 대규모 QUBO 문제 해결용 다단계 NAQA(NDAR보다 3배 빠름)
  - Quantum Relax-and-Round 방식 등
- 실 사례 적용도 시작됨: 실세계 최적화 문제 적용
- 장점
  - 단순 모듈형 구조: 샘플링 단계는 양자 아닌 고전 시스템에서도 가능
  - 성능 우수: QAOA 등 기존 알고리즘 대비 우수한 해 도출 능력
- 단점
  - 계산 자원 소모: Step 2의 최적화 문제 재구성은 특히 고비용(예:  $O(n^3)$  고유값 계산 등)
  - 성능 측정 부족: 주요 논문들에서 런타임 정보 생략이 일반적
- 한계 및 미해결 과제
  - 일반화 가능성 미확인: SK 모델에서는 우수하나, 실제 문제의 복잡한 연결 구조(예: power-law degree)에서는 미확인
  - 비교 부족: Q-CTRL 등 노이즈 인지 알고리즘과 정량 비교 부족
- 향후 전망 및 융합 가능성
  - DNAR 기반 확장형 NAQA는 기존 NDAR 대비 3배 성능 개선 달성
  - ADAPT-QAOA 등 노이즈 미사용 알고리즘과의 결합도 가능
  - 후처리 기법(Shimming, 보정 등)과의 통합을 통해 성능 향상 기대
  - 모듈화된 구조는 향후 다양한 개선 및 확장 연구에 적합

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2025/06/14/an-overview-of-noise-adaptive-quantum-algorithms/>