

# 양자 최적화, 과제와 기회 개관

(2024.11.18, 양자정보연구지원센터)

## □ 양자 최적화(Quantum Optimization)란 무엇인가

### ○ 정의

- 양자 컴퓨팅은 고전 컴퓨터로는 해결이 어려운 문제를 효율적으로 해결할 가능성을 지닌 기술
- *Nature Review Physics*에 따르면, 실용적 양자 최적화로의 진입에는 이론적 및 기술적 도전 과제가 존재함

### ○ 최적화의 중요성

- (최적화의 개념) 제한된 자원 내에서 최적의 해결책을 찾는 과정으로, 물류, 금융 등 다양한 산업에 적용됨
- (대표 사례) “여행하는 판매원 문제(traveling salesperson problem)” 는 많은 경우 계산 복잡도가 기하급수적으로 증가함
- (고전 컴퓨터의 한계) 문제의 규모와 데이터가 커질수록 효율성과 비용 면에서 어려움을 겪음
- (양자 컴퓨팅의 잠재력) 새로운 알고리즘으로 계산 효율성을 높이고, 에너지 비용을 줄이며, 정확도를 개선할 가능성

### ○ 양자 최적화의 작동 원리

- (기본 개념) 양자 컴퓨터는 큐비트의 중첩(superposition)을 활용해 동시에 여러 상태를 탐색 가능
- 특정 문제에서 계산 속도를 크게 향상시킬 수 있음
- (주요 알고리즘) 그로버 탐색(Grover's Search) : 탐색 속도 이차적 개선
- 양자 어닐링(Quantum Annealing) : 최적 에너지 상태를 탐구해 최적해 도출

- QAOA(Quantum Approximate Optimization Algorithm) : 특정 문제의 근사적 최적해 도출
  - (한계) 초기 연구 결과는 가능성을 보이지만, 많은 문제에서 지수적 성장의 한계를 여전히 겪음
- 복잡도 이론(Complexity theory)과 평가
    - (복잡도 이론의 역할) 문제 해결에 필요한 계산 노력을 분석해 양자 컴퓨터의 실질적 효율성 평가
    - 문제 유형: NPO(Nondeterministic Polynomial-time Optimization, 비결정론적 다항시간 최적화 문제)로, 복잡하지만 해답 검증은 용이함
    - (주요 질문) 양자 컴퓨터가 초다항적 속도 향상을 제공할 수 있는지에 대한 논의가 지속 중
    - 현실 세계 문제에서 “최악의 경우”와 “평균적 경우” 성능 차이가 평가에 영향을 미침
- 실질적 도전 과제
    - (양자 알고리즘의 한계) 모든 문제에서 항상 더 나은 해를 제공하지 않음
    - 고전적 알고리즘도 효율적이고 근사적인 결과를 제공할 수 있음
    - (양자-고전적 하이브리드 접근) 양자와 고전 알고리즘을 결합해 더 빠르고 정확한 결과를 얻을 가능성
- 주요 과제
    - (하드웨어 및 노이즈 문제) 양자 컴퓨터는 외부 간섭(노이즈)에 민감하며, 계산 정확도 저하 우려
    - 이를 해결하기 위해 오류 수정 기술이 필수적
    - (확장성) 현재 양자 시스템의 큐비트 수가 제한적
    - 큐비트 수 확대와 안정성 확보가 중요한 과제

- (벤치마킹 및 검증) 양자 알고리즘이 고전 알고리즘을 능가하는 조건과 환경을 명확히 파악해야 함

- 응용 가능성과 발전 방향

- (응용 분야) 금융: 자산 배분, 리스크 관리

- 물류 : 경로 최적화, 자원 배분

- 에너지 : 전력망 관리 및 비용 절감

- (향후 발전 방향) 실제 문제 식별 : 고전적 접근으로 어려운 문제를 양자 컴퓨팅으로 해결할 사례 발굴

- 응용 중심 알고리즘 개발 : 특정 산업 및 일반적인 문제 해결에 적합한 알고리즘 연구

- 이론 및 기술 발전 : 더 높은 효율성을 제공하는 새로운 알고리즘 개발 및 하드웨어 개선

- 결론

- 양자 최적화는 고전 컴퓨팅의 한계를 극복할 잠재력이 있지만, 이론적, 기술적 과제를 해결해야 함

- 고전적 방법과의 협력을 통해 점진적으로 실용적 응용에 가까워질 가능성이 있음

(원문)

1. <https://thequantuminsider.com/2024/11/16/what-is-quantum-optimization-research-team-offers-overview-of-quantum-optimization/>