이온트랩 양자컴퓨터 기반 포트폴리오 최적화 향상

(2026.08.11., 양자정보연구지원센터)

□ 이온트랩 양자컴퓨터에서 하이브리드 양자 알고리듬을 활용한 포트폴리오 최적화 성능

○ 하이브리드 양자 알고리즘을 활용한 포트폴리오 최적화 성능 향상

- JPMorgan Chase, Amazon Advanced Solutions Lab, AWS, Quantinuum, 55 North Management 공동 연구진이 “양자컴퓨터와 고전 컴퓨터를 결합한 하이브리드 방식의 포트폴리오 최적화 알고리즘 ‘qReduMIS’ ”를 개발

- Quantinuum의 98큐비트 이온트랩 양자컴퓨터 ‘Helios’를 활용해 실제 금융시장 데이터를 기반으로 포트폴리오 최적화 문제를 수행한 결과, 기존의 대표적 양자 알고리즘인 “QAOA(Quantum Approximate Optimization Algorithm)” 보다 우수한 성능을 확인

- 연구 결과는 양자컴퓨터가 복잡한 최적화 문제의 정답을 단독으로 도출하기보다, **유망한 해의 일부 정보를 제공하고 고전 컴퓨터가 나머지 계산을 수행하는 방식**이 현 단계 양자컴퓨팅의 실용적 활용에 효과적일 수 있음을 제시

○ **포트폴리오 최적화 문제를 최대 독립집합 문제로 변환**

- 연구진은 투자자산 간 상관관계를 기반으로 분산투자 포트폴리오를 구성하는 문제를 그래프 이론의 **최대 독립집합(Maximum Independent Set, MIS)** 문제로 모델링

  -개별 금융자산을 그래프의 노드로 표현

  -상관관계가 높은 자산을 연결하는 간선을 설정

  -서로 강하게 상관되지 않는 자산들을 최대한 많이 선택하는 것이 목표

- 자산 수가 증가할수록 가능한 조합이 급격히 늘어나 최적의 포트

폴리오를 찾는 계산 난도가 증가

- QAOA 등 양자 알고리즘이 이러한 조합 최적화 문제의 해결책으로 제시돼 왔으나, 문제 규모가 커질수록 최적해를 직접 생성할 확률이 낮아지는 한계가 존재

○ **양자·고전 컴퓨터의 역할을 분담하는 qReduMIS**

- qReduMIS는 양자컴퓨터가 전체 최적해를 직접 찾도록 요구하지 않고, **양자 측정 결과에서 최적해에 포함될 가능성이 높은 변수(자산)를 식별**하는 방식으로 설계
- 최적해에 포함될 가능성이 높은 노드를 '동결 노드(frozen nodes)'로 지정한 뒤 해당 변수를 고정
- 이후 고전 컴퓨터가 그래프 축소 및 문제 단순화 작업을 수행하고, 축소된 문제를 다시 양자컴퓨터에서 계산하는 과정을 반복
- 이를 통해 양자컴퓨터는 확률적 정보를 제공하고, 고전 컴퓨터는 정확한 축소·관리 작업을 수행하는 상호보완적 계산 구조 구현

○ **실제 금융시장 데이터를 활용한 양자 하드웨어 검증**

- 독일 DAX, 영국 FTSE 100, 미국 S&P 100, 일본 Nikkei 225 등 **4개 주요 주가지수의 과거 시장 데이터를 활용**해 포트폴리오 최적화 문제 구성
- 최대 규모의 문제는 **225개 금융자산**으로 구성
- Quantinuum의 98큐비트 이온트랩 양자컴퓨터 **Helios**에서 양자 계산을 수행
- Helios는 모든 큐비트가 서로 직접 연결될 수 있는 **전연결(all-to-all) 구조**를 갖추고 있어, 자산 간 상관관계가 복잡하게 연결된 금융 그래프를 구현하는 데 유리
- 최대 **78큐비트와 1,000개 이상의 2큐비트 게이트**를 사용하는 양자회로를 실행해 실제 금융 최적화 문제에 대한 하드웨어 실증을 수행

○ 기존 QAOA 대비 우수한 성능 확인

- 기존 QAOA는 S&P 100 및 Nikkei 225의 가장 큰 두 개 벤치마크 문제에서 최적해를 찾는 데 실패한 반면, qReduMIS는 동일한 문제에서 높은 성공률을 기록
  - Nikkei 225: **95%의 성공확률**
  - S&P 100: **40%의 성공확률**
- 4개 주가지수 전체에서 평균 근사비율(approximation ratio)이 0.96 이상으로 나타나, 정확한 최적해를 찾지 못한 경우에도 최적해에 가까운 결과를 안정적으로 도출
- 실제 하드웨어 실험에서는 보고된 결과를 얻기 위해 최대 5회의 양자 프로세서 호출만 필요했던 것으로 나타나 양자컴퓨터 사용량 측면에서도 효율성을 확인

○ 문제 규모 증가에 따른 확장성 개선

- 연구진은 Quantinuum의 H2-1 노이즈 에뮬레이터를 활용해 문제 규모를 단계적으로 확대하면서 qReduMIS와 기존 QAOA의 성능을 비교
- '시간-해결(time-to-solution)' 지표를 기준으로 분석한 결과, 2층 QAOA 회로에서 qReduMIS가 단독 QAOA 대비 문**제 규모 증가에 따른 계산시간 증가율을 약 3.2배 개선**
- 문제 규모가 커질수록 단독 QAOA는 근사해의 품질이 저하되는 경향을 보인 반면, qReduMIS는 규모가 증가해도 최적해에 가까운 결과를 비교적 안정적으로 유지
- 이는 양자컴퓨터가 최적해를 직접 산출하지 못하더라도, 최적해에 포함될 가능성이 높은 변수에 대한 통계적 정보 제공하는 것 자체가 고전 알고리즘의 성능 향상에 기여할 수 있음을 보여줌

○ 금융을 넘어 다양한 최적화 문제로 확대 가능

- 최대 독립집합 문제는 금융 포트폴리오뿐만 아니라 **통신, 물류,**

일정계획, 네트워크 설계, 제조업 등 다양한 분야에서 활용

- 연구진은 금융 데이터와 다른 무작위 그래프에서도 qReduMIS의 성능을 평가했으며, 특정 금융시장 구조에만 국한되지 않는 활용 가능성을 확인
- 향후 양자 하드웨어의 큐비트 수 증가 및 오류율 개선이 이루어질 경우 더 큰 최적화 문제에 적용할 수 있을 것으로 기대

○ 연구의 한계 및 향후 과제

- 이번 연구는 양자컴퓨터가 금융투자 분야에서 실질적인 **양자우위(quantum advantage)를 달성했다는 의미는 아니며,** 포트폴리오 분산 최적화 문제에 초점을 맞춘 연구
- 현재 양자 하드웨어가 처리할 수 있는 규모에서는 시뮬레이티드 어닐링 등 우수한 고전적 최적화 기법도 상당수 문제를 효과적으로 해결할 수 있어, 기존 고전 알고리즘 대비 우월성이 충분히 입증된 것은 아님
- 향후에는 더 큰 규모의 양자 프로세서와 낮은 오류율을 활용해 보다 복잡한 최적화 문제를 대상으로 성능을 검증할 필요
- 또한 가중치가 적용된 포트폴리오 최적화, 위험관리 등 실제 금융 의사결정에 가까운 문제와 물류·제조 등 산업 분야로 적용 범위를 확대할 계획
- 이번 연구는 양자컴퓨터를 기존 컴퓨터의 대체재가 아닌 **특정 계산 과정에서 유용한 정보를 제공하는 가속기로 활용하는 하이브리드 양자컴퓨팅의 가능성**을 보여줬다는 점에서 의미

(원문)

1. https://thequantuminsider.com/2026/07/06/hybrid-quantum-algorithm-improves-portfolio-optimization-on-trapped-ion-quantum-computer/