효율적으로 양자 프로그램 런타임 상태 확인하기

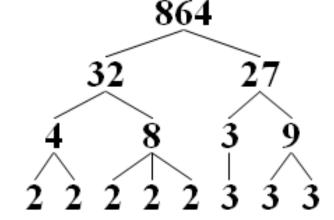
강찬구 오학주 고려대학교

2023년 7월 6일 번개발표 @ ERC 워크샵

왜, 양자 컴퓨터?

양자 컴퓨터에 관심을 가져야 하는 이유

• 양자컴퓨터가 고전컴퓨터보다 잘푸는 '실용적인 문제'가 확실히 있다

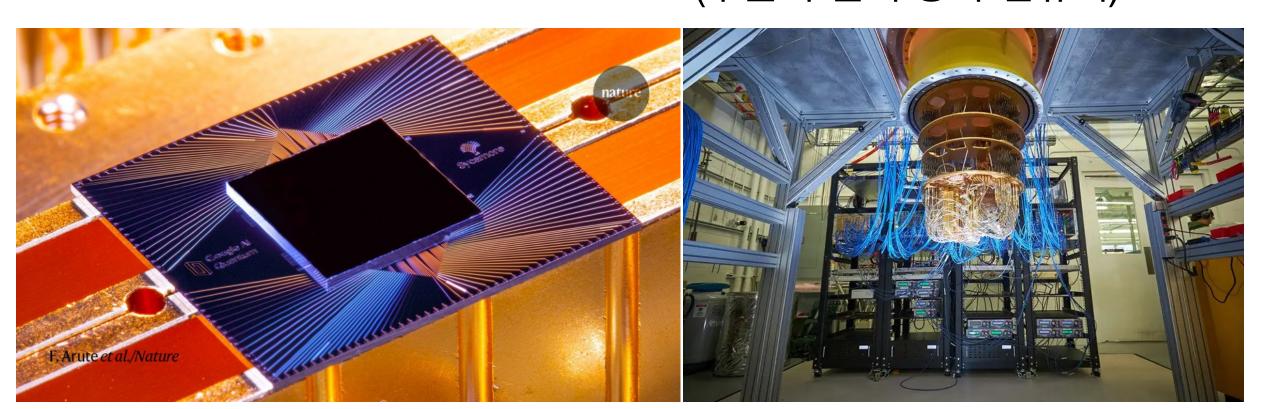


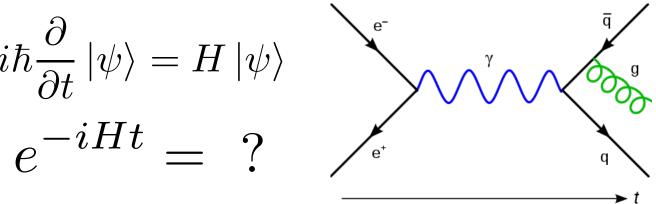
소인수 분해(Shor Algorithm)

다항시간 내 풀이, RSA 암호 체계 붕괴

• 그리고 희망적인 이정표

(구글의 실제 양자 컴퓨터)





양자 시뮬레이션

다양한 양자적 물리현상에 대한 시뮬레이션, 양자 화학 등에 응용

2019년 구글의 Quantum Supremacy 실증

circuit-samping 실험에 대해서 고전 컴퓨터 대비 양자 컴퓨터의 이익이 존재함을 최초로 보임

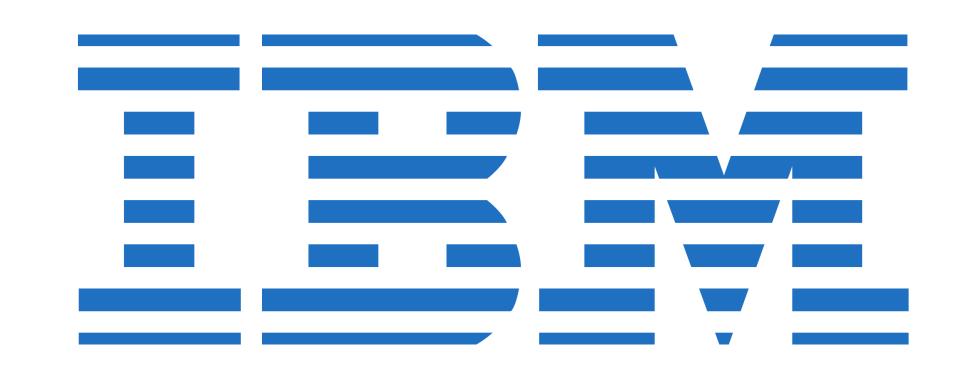
왜, 양자 컴퓨터?

- 최신 연구 결과 (by IBM)
 - 127-큐비트 양자컴퓨터로 기초적인 **양자 화학 문제**에 대한 고전 컴퓨터 대비 실험상 이익 달성
 - 고전 컴퓨터 30h vs 양자컴퓨터 9.5h
 - 2년 안에 최초의 상용화 기대

NEWS | 14 June 2023

IBM quantum computer passes calculation milestone

'Benchmark' experiment suggests quantum computers could have useful real-world applications within two years.



문제:양자 프로그램 런타임 상태 확인

- 실행 중 프로그램의 데이터 값 확인
- 양자프로그램 버전으로 :
 - ullet 내가 원하는 양자 프로그램 상태 : |E
 angle
 - ullet 현재 양자 프로그램 P의 상태 : $|P\rangle$
 - ullet 런타임 확인 : 정말로 |E
 angle랑 |P
 angle랑 같은지?
- ullet 어려움 : 양자역학 상 한계, $|P\rangle$ 는 알 수 없음

문제:양자 프로그램 런타임 상태 확인

- 실행 중 프로그램의 데이터 값 확인
- 양자프로그램 버전으로 :
 - ullet 내가 원하는 양자 프로그램 상태 : |E
 angle
 - ullet 현재 양자 프로그램 P의 상태 : $|P\rangle$
 - ullet 런타임 확인 : 정말로 |E
 angle랑 |P
 angle랑 같은지?
- ullet 어려움 : 양자역학 상 한계, $|P\rangle$ 는 알 수 없음

 $\Re |P\rangle$ 측정시 상태가 붕괴 해버려서...

포스터에는..

- 문제 정의
- 더 자세하게 문제의 어려움 소개
- 잠정적 해결 방안
 - 진폭 증폭 알고리즘 활용

감사합니다!



효율적인 양자 프로그램 런타임 상태 확인

강찬구 오학주 소프트웨어분석연구실

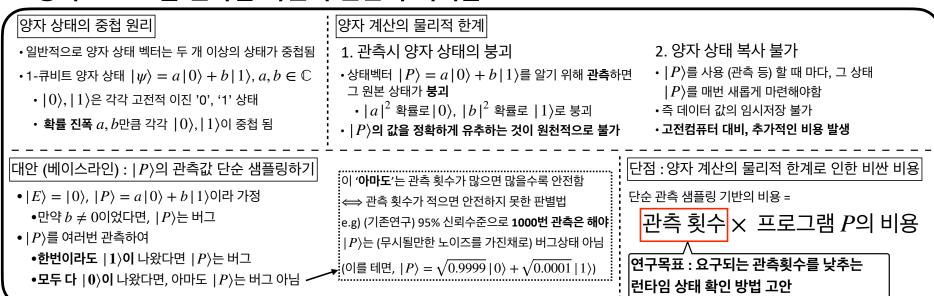
1. 양자 컴퓨터와 양자 프로그래밍



2. 양자 프로그램 런타임 확인 (디버깅) - 문제정의

예시 : adder, $|b\rangle|a\rangle \mapsto |b\rangle|a+b \mod N\rangle$ 런타임 확인: 현재 프로그램 상태 벡터가 내가 원하는 상태 벡터인가? •내가 원하는 프로그램 상태 $|E\rangle$ 올바르게 회로 프로그래밍 했다면, ullet현재 (특정 시점의) 프로그램 P의 상태 $|P\rangle$ •런타임 확인 : 정말로 같은지? $assert(|E\rangle = |P\rangle)$

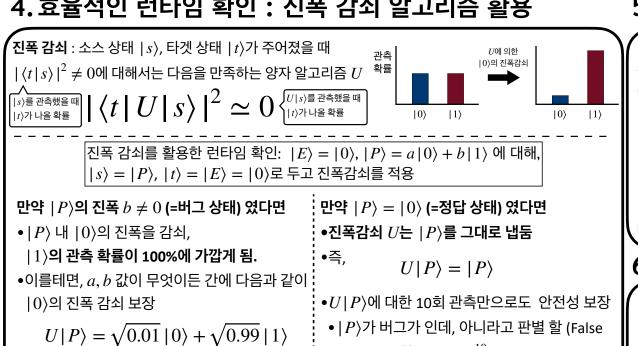
3. 양자 프로그램 런타임 확인의 근본적 어려움



4. 효율적인 런타임 확인 : 진폭 감쇠 알고리즘 활용

●99%확률로 |1⟩ 관측

•1~2회 관측만으로도 버그 판별 가능



Negative) 확률은 0.01^{10}

5. 비용 비교 평가

비용 지표 : CNOT 게이트 총 실행 횟수 물리적 구현 비용이 비싸다고 알려진 CNOT 게이트만 고려 예시 프로그램 : P : 100-큐비트 양자 푸리에 변환 • *cost(P)*= 5050회의 CNOT 실행 • 베이스라인 : 최대 1000회의 |*P*〉 관측 $1000 \times cost(P)$ = 5,050,000 CNOT 실행 ullet OURS : 최대 10회정도 진폭감쇠된 U|P
angle 관측 = 702,300 CNOT 실행 베이스라인 대비 OURS의 약 7배 이익

6. 향후 과제

- ●진폭감쇠 비용 최적화
- 비용분석을 위한 지표의 구체화
- CNOT 게이트 실행 수 외 또 다른 중요한 지표?