QC40, IBM Quantum Challenge 2021

(2021.06.18., 양자정보연구지원센터)

□ IBM quantum challenge 시작

○ 양자 컴퓨팅 역사 중요성 확인

- 전산물리학회(Physics of Computation Conference) 40주년 기념
- 클라우드에 양자컴퓨터 배치(IBM quantum) 5주년
- 시뮬레이터 작동 아키텍처 청사진화, 고전 컴퓨터 능가하는 알고리즘 고안, 물리적 하드웨어 구축, 하드웨어 오류 수정 계획 발견

□ 1980, 토폴리 게이트(Toffoli Gate)

○ 1981 전산물리학회

- 물리적 시스템 특성 활용하는 것과 계산 처리 개선 주제
- 가역 컴퓨팅 연구 동기부여, 에너지 효율적인 장치 가능성 제공
- 고전 컴퓨팅의 AND 및 NAND 게이트의 가역 버전 고안(Tommaso Toffoli), Toffoli 또는 CCNOT 게이트

○ Toffoli 게이트의 양자 구현

- 양자 컴퓨팅 위한 최초의 구성 요소(Building block) 중 하나
- 양자물리학의 독특한 행동 이용, 완전히 새로운 계산 패러다임 구축
- 5년 내 SW 최적화, 재료장치 속성, 양자 오류 수정 각각에서 10개 개선점 제공, 이들 결합하여 적절한 계산지표 1,000개 개선점 확보

○ IBM Quantum Challenge 1st 문제

- 비트에 작용하는 연산, 논리 게이트 개념 도입, 양자 비트로 확장
- 양자 게이트는 양자계산의 핵심인 회로에 양자 비트 연결
- 토폴리 게이트 만들기 위해 가장 중요한 각 게이트와 결합 방법

□ 1994, 쇼어 알고리즘(Shor's Algorithm)

○ 사고 실험 영역에서 알고리즘 유용성으로 발전

- 양자회로 사용, 정해진 시간 동안 함수 반복 횟수 통해 주기 찾기 문제 해결
- 양자컴퓨터가 시뮬레이션을 넘어 중요한 응용 프로그램임을 증명
- 2001, 숫자 15 인수분해 하드웨어 시연

ㅇ IBM Quantum Challenge 2nd 문제

- Shor 알고리즘 사용, 실제 장치에서 35 인수분해
- 양자 푸리에 변환, 양자 위상 추정 및 주기 찾기 문제 구성 요소 안내

□ 1995, 양자 오류 수정(Quantum Error Correction)

ㅇ 양자 오류 수정, 양자 컴퓨팅 연구 개발에 중요

- 쇼어 알고리즘을 실행할 하드웨어 구축이 매우 어려움
- 고전 컴퓨터는 오류 방지 위해 비트 중복 포함, 양자 컴퓨터 오류 줄이기 위해, 양자 정보를 여러 큐비트에 공유 논문 발표(1995, 쇼어)

ㅇ IBM Quantum Challenge 3rd 문제

- 오류 수정 코드 또는 여러 물리적 큐비트 값을 하나의 전체 큐비트 값으로 인코딩 전략에 따라 달라짐
- 오류 수정 코드 구현 및 오류 수정 체계를 특정 양자 프로세서에 맞춤화, 양자 연구자의 오류 수정 방법 고려
- 간단한 반복 코드 사용, 양자 오류 수정 기본 배울 수 있음

□ 2007, 트랜스몬 큐비트(Transmon Qubits)

ㅇ 제어 가능한 양자 컴퓨터 큐비트 시스템

- 핵자기 공명으로 분자 스핀 상태 조사하는 강 자석
- 레이저에 의한 이온 트랩, 광학 시스템을 통해 이동하는 광자 또는 전자의 스핀 상태
- 2007, 조셉슨 접합에 의해 방해받는 초전도 회로 통과하는 전자 행동 기반으로 양자 프로세서 선보임(Yale대)

ㅇ 초전도 회로

- 조셉슨 접합 회로는 오실레이터 작동, 초전도 회로를 저온 유지하면 전류 정량화
- 마이크로파 에너지 펄스: 큐비트를 가장 낮은 상태로 초기화, 여기상태로 이동, 중첩, 큐비트 결합하는 게이트 역할
- 조셉슨 접합부: 비선형 요소 도입, 에너지 불균일 간격으로 하위 두 모드만 사용

ㅇ IBM Quantum Challenge 4th 문제

- 트랜스몬 큐비트는 IBM 양자 시스템의 중추 역할
- Qiskit Pulse 사용, 실제 양자 하드웨어 작동 방식 깊이 이해

□ 2014, VQE(Variational Quantum Eigensolver)

ㅇ 양자 방식으로 자연법칙 시뮬레이션 가능한 컴퓨팅 시스템 발전

- 다른 접근법보다 훨씬 얕은 회로의 분자 바닥 상태 에너지 찾기 위해 설계된 알고리즘 VQE 소개(2014)
- VQE 알고리즘 사용, 수소화리튬 분자 바닥상태 에너지 시뮬레이션(2017, IBM Quantum 팀)

ㅇ VQE 특징

- 문제 처리 워크로드 중 일부를 고전 컴퓨터로 아웃소싱
- 알고리즘은 ansatz라는 매개변수로 양자회로 시작, 고전적 최적화 도구 사용하여 회로 최적 매개 변수 찾음
- 장점: 양자처리장치(QPU)가 기존 컴퓨터에서 기하급수적으로 어려운 문제의 정확한 파동 함수를 표현, 저장할 수 있음

ㅇ IBM Quantum Challenge 5th 문제

- 대형 분자 시뮬레이션 위해 VQE 설정
- Qiskit Nature 응용 모듈 출시, 자연과학 분야 연구자가 양자 시뮬레이션 사용, 문제 모델링 해결

(원문)

1. https://medium.com/qiskit/ibm-quantum-challenge-2021-heres-what-to-expect-65a303753ffb