

Q REPORT

양자정보과학 리포트

양자 컴퓨터의 활용





- 01 양자 컴퓨터의 활용**
 - 1-1. 활용 분야 및 의의 05
 - 1-2. 활용을 위한 개발자 도구 10

- 02 국내외 양자 컴퓨터 활용 동향**
 - 2-1. 국가기관 단위 16
 - 2-2. 기업 단위 16

[들어가는 말]

‘자연이 가진 계산능력을 이용하는 컴퓨터’는 1980년 초에 제안된 이래로 최근 눈부신 개발 성과를 내고 있다. 바로 양자 컴퓨터의 이야기이다. 이제는 누구든지 양자 컴퓨팅 클라우드를 통해 양자 컴퓨터를 사용할 수 있으며, IBM의 경우 매일 20억여 개의 양자 회로가 실행되고 있을 만큼 그 사용량이 많다. 양자 컴퓨터에 대한 높은 관심으로 관련된 다양한 자료들이 쏟아지고 있지만, 양자 컴퓨터를 이해하고 활용하기란 여간 어려운 일이 아니다. 하지만 이것은 비단 양자역학과 양자 컴퓨터 이해에 관한 문제만은 아닌 것 같다. 우리가 익숙하게 사용하는 기존의 컴퓨터나 스마트폰의 경우, 그 작동 원리를 이해하지 않고도 일상에서 또는 업무적으로 사용하는 일에 큰 어려움이 없다. 오히려 컴퓨터나 스마트폰은 친숙하고 잘 알고 있는 것처럼 느껴진다.

‘양자컴퓨터는 어떻게 신약 개발이나 탈 탄소화에 도움을 준다는 것일까?’

‘세계의 금융 기업들은 무엇 때문에 양자 컴퓨팅 연구에 투자하는 것일까?’

본문에서는 양자 컴퓨터가 우리 삶에 어떠한 도움이 되는지 소개하며, 양자 컴퓨터 활용에 대한 이해를 돕고자 한다.



Q REPORT

양자정보과학 리포트

CHAPTER
1장

양자 컴퓨터의 활용



1-1. 양자 컴퓨터 활용 의의 및 활용 분야

양자 컴퓨터는 고전 컴퓨터와 다르게 **양자 중첩**과 **양자 얽힘**이라는 양자역학적 특징을 컴퓨팅에 활용하여 **양자 병렬성** 및 **양자 알고리즘**을 실현할 수 있음. 이러한 특징 덕분에 양자 컴퓨터는 연산량이 증가할수록 고전 컴퓨터와 비교해 연산속도의 장점이 두드러지며, 요즘같이 많은 변인이 복합적으로 존재하는 거대한 데이터/계산을 처리하는 문제에 양자 컴퓨터 활용이 기대됨.

양자 중첩

양자컴퓨터는 일반 컴퓨터의 비트(bit)와 다른 큐비트(qubit)을 사용하는데, 큐비트는 '0'이면서도 '1'인 특이한 양자역학적 상태인 **양자 중첩(Quantum Superposition)**을 만들 수 있음. 이때 양자 중첩된 큐비트는 측정이 있어야 비로소 특정 상태로 결정됨. 이러한 특성을 이용해 측정 없이 연산을 수행하면 양자 중첩이 유지되므로 큐비트는 가능한 모든 경우의 정보를 한꺼번에 가지게 되는데 이것을 양자 컴퓨터의 병렬성이라고 함.

- 슈뢰딩거(Schrödinger)는 양자역학의 불완전함을 보이기 위해 슈뢰딩거의 고양이 사고 실험을 고안한 것이지만, 현재는 양자 중첩을 설명하는 예시로 유명.

양자 얽힘

어떤 두 부분(예를 들면 입자)에 발생하는 **양자 물리적인 상관관계인 양자 얽힘**이라는 것이 존재하는데, 양자 컴퓨터, 양자통신, 양자 순간이동 등에서 응용됨. 양자 얽힘은 양자역학을 해석하는 방법 중 가장 널리 받아들여지는 '코펜하겐 해석'에서 유도되는 결론 중 하나이지만, 너무나도 **비직관적인** 탓에 아인슈타인은 '먼 곳에서 벌어지는 귀신이 나올 것 같은 일'이라 부르며 인정하고 싶지 않아 함.

현재 단계의 양자 컴퓨팅 프로세서는 지속적인 양자 오류 수정과정을 구현하지는 못하고, 잡음이 있는 상태에서 그것을 제어하는 알고리즘을 이용하는 양자 컴퓨팅을 수행하는데, 이것을 NISQ(noisy intermediate-scale quantum) 시대의 양자 컴퓨터라 부름.

NISQ 양자 컴퓨터의 지향점은 양자 중첩/얽힘 상태를 이용하여 주어진 연산을 한꺼번에 처리하는 ‘양자 병렬성’을 최대한 활용하는 것이지만, NISQ 시대에는 양자 게이트 잡음 때문에 실행할 수 있는 양자 회로 깊이가 제한됨. 따라서 **NISQ 양자 컴퓨터를 활용하기에 적합한 특별한 알고리즘이 필요.**

- NISQ 알고리즘의 예로 VQE(variational quantum eigensolver), QAOA(quantum approximate optimization algorithm)등이 있으며, 이것들은 NISQ 양자 컴퓨터(또는 양자 정보 장치)와 고전적인 컴퓨터를 융합적으로 사용하여 연산 부하를 줄이는 하이브리드 알고리즘.
- VQE, QAOA와 같은 NISQ 양자 알고리즘을 이용해 양자 화학의 알려진 결과를 복구 가능성이 입증되어있으며, 물리학, 생물학, 데이터 과학, 금융 및 암호학으로의 응용이 제안되고 있음.

 [표1]에서 양자 컴퓨터 활용이 기대/노력이 있는 산업 분야를 소개.

- 최근, 딥 러닝, 기계 학습을 포함하는 SI가 산업에 새로운 길을 제시한 것처럼, 양자 기술/컴퓨팅도 산업에 새로운 국면을 불러올 것으로 기대되며, 여기에는 인류와 지구 생태계 전반에 지각변동을 일으킬만한 합성생물학, 탈 탄소화 연구도 포함.

[표1]
양자 컴퓨터 활용이
기대되는 산업 분야

산업	활용	사례
화학, 에너지	<ul style="list-style-type: none"> - 분자 설계 최적화 - 화학 역학의 양자역학적 시뮬레이션 - 전지/촉매 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> - MS 기초연구 - IonQ 화학 시뮬레이션 SW 개발 - ETH, Havard 대학 등의 연구
금융	<ul style="list-style-type: none"> - 포트폴리오 최적화 - 리스크 관리 - 옵션/가격 결정 최적화/고속화 	<ul style="list-style-type: none"> - Goldmans Sachs & QC ware의 양자 컴퓨팅 몬테카를로 방법 - JP Morgan의 금융 양자 기계 학습 - D-Wave Systems & 1QBit의 Quantum for Quants 설립 - IonQ & GE Research의 리스크 관리 응용 탐색
IT	<ul style="list-style-type: none"> - AI 고속 학습 - 고속 클러스터링 - 양자통신 보안 	<ul style="list-style-type: none"> - FCAT & IonQ의 양자 머신러닝 - Google/D-Wave Systems의 이미지 인식 정확도 향상 - USTC, NMR기술 이용 4 큐비트 양자 프로세서 개발 - Arqit의 양자 암호화 위성 개발
의료, 제약	<ul style="list-style-type: none"> - 단백질 구조 분석/최적화 - 치료 약물 발견, 최적 사용량 산출 - 맞춤형 의료 고속화 	<ul style="list-style-type: none"> - Boehringer Ingelheim & Google의 신약개발 - Stanford, Texas 대학 연구 - Havard 대학, D-Wave systems의 단백질 분석 실험
물류, 자동차, 항공우주	<ul style="list-style-type: none"> - 유체 역학, 전자기학으로 최적화된 기체 설계 - 운송수단의 물류 운송 최적화 - 비행 제어 시스템 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> - Volkswagen & Google 개발 - Volkswagen 주문형 이동 서비스 알고리즘 - PLC & Manchester 대학의 물류 알고리즘 - NASA의 비행체 날개 설계 최적화 - Lockheed Martin & Airbus의 제어 시스템 버그 탐색 SW 개발

출처 : Minato(2018), 조성선(2018), 이준(2019)

[표1]에서 소개된 내용은 아래의 활용 방향에 따른 분류로 나누어 생각할 수 있는데, 이것을 바탕으로 이야기해보고자 함.



가. 최적화 문제

우리는 많은 정보를 바탕으로 수많은 결정을 내리지만 이러한 결정이 근거를 갖추고 최적의 선택을 내리기 위한 합리성을 갖추기는 쉽지 않음. 따라서, 개인, 기업 그리고 정부기관에 이르기까지 ‘최적화 문제’를 풀기 위해 시간과 자원을 들임.

최적화 문제에는 [표1]에서 소개한 것처럼, 생산 최적화, 금융 헤지 전략, 국가 예산 분배나 최적의 공공기관 위치 선정 또는 물류 운송의 최적화 등이 포함.

Grover 알고리즘

양자 컴퓨터의 경우, 고전 컴퓨터보다 적은 연산량으로 최적 문제를 풀 수 있는데, 그 이유는 Grover 알고리즘과 같은 양자 알고리즘을 활용할 수 있기 때문.

- 기존의 컴퓨터가 연산을 위해 N 의 연산량이 필요하다면, Grover 알고리즘의 연산량은 $\sim \frac{\pi}{4}N^{1/2}$ 이 필요하여, 연산량의 크기가 클수록 강력한 효과를 보임. 예를 들어, 열어보기 전에는 내용물을 알 수 없는 상자 10,000개를 준비하고, 단 한 상자에만 들어있는 동전을 찾는 경우, 하나씩 열어봐서 확인하는 방법을 쓴다면, 최악의 경우 10,000개의 상자를 열어야 함. 만약, 이 상자들을 양자 중첩상태로 만들 수 있다면, Grover 알고리즘을 사용하여 79개의 상자만 열고도 100% 가까운 확률로 동전을 찾을 수 있음.
- 답을 찾아낼 수 있는 모든 알고리즘과 함께 적용할 수 있는 강력한 범용성이 장점.
- 하지만 Grover 알고리즘이 최적화 문제의 마침표는 아니며, Grover 알고리즘보다 더 빠른 속도 향상을 가져올 방법, 그리고 새로운 문제를 해결/개선하기 위한 양자 알고리즘 연구는 여전히 진행 중.

나. 시뮬레이션

위험성, 경제적/시간적 여건 등의 이유로 현실에서 쉽게 수행할 수 없는 것을 컴퓨터를

이용해 모의 실험하는 것을 말하는 시뮬레이션은 학계 및 산업계 전반에 활용되는 부분이 큼. 최근 복잡하고 정밀한 시뮬레이션이 필요함에 따라 기존의 컴퓨터 클러스터를 이용한 병렬컴퓨팅 및 슈퍼컴퓨터와 같은 형태로 거대한 연산량을 처리하려는 노력이 활발.

고전 컴퓨터의 경우

- 양자화학 및 분자역학에서의 화학 반응 및 분자, 폴리머와 같은 양자 시스템의 계산, 그리고 핵물리, 응집물리와 같이 다체문제(many-body problem)를 푸는 경우 등은 고전 컴퓨터를 사용하기에 연산량이 많아 실제적인 결과를 얻는 데 한계가 있음.

양자 컴퓨터의 경우

- 양자컴퓨터는 양자역학적 특성인 **양자 중첩이 하드웨어 수준에서 구현되기** 때문에, 앞에서 이야기한 양자역학 계산(양자화학, 분자역학 등)을 포함하는 자연계 시뮬레이션이 고전 컴퓨터에 비해 자유로움. 덧붙여, 양자 알고리즘도 활용할 수 있기에 연산량이 많을수록 연산속도의 장점이 부각 됨.

확률론적 시뮬레이션에서의 장점

학술/산업 전반에 활용도가 높은 확률론적 시뮬레이션(Stochastic Simulation)의 경우도 양자 컴퓨팅을 활용하기 좋음.

- **난수 생성과정이 따로 필요 없는 것** 또한 시뮬레이션 연산속도 향상에 도움.
- 현재, 확률론적 시뮬레이션의 한 종류인 몬테카를로(Monte Carlo) 방법을 양자 컴퓨팅 시스템에 적용하기 위해 금융회사인 Goldman Sachs와 양자 컴퓨팅 회사인 QC ware가 공동연구를 수행하여, NISQ 양자 컴퓨팅 시스템에 적용 가능한 양자 알고리즘을 개발.

다. 양자 AI

최근 주목받는 기술인 기계 학습, 딥 러닝을 포함하는 개념인 AI의 계산 수행을 발전시키기 위한 양자 알고리즘 연구가 진행 중. 기존 AI에 대한 깊은 이해도 없는 상황이므로 양자 AI에 대한 논의 또한 깊은 단계로 나아가기는 힘든 상황.

양자 AI 방향성

현재 단계에서의 양자 AI의 활용 목표 및 방향은 크게 다음과 같이 나누어짐.

- 양자 물리학에 기계 학습 적용 : 해밀토니안(Hamiltonian) 예측, 양자 변화 설계, 양자 실험 제어, 기계 지원 연구, 위상 변화 학습.
- 기계 학습에 양자 개념 일반화 : 양자 데이터 기계 학습, 양자 학습 및 양자 프로세스.
- 양자 컴퓨팅 활용에 의한 기계 학습 향상 : 샘플 복잡성, 학습 능력 향상, 계산 복잡성.
- 양자 AI 요소 및 양자 학습 에이전트 : 상호작용을 통한 양자 학습(양자 랜덤 워크), 에이전트-환경 패러다임.

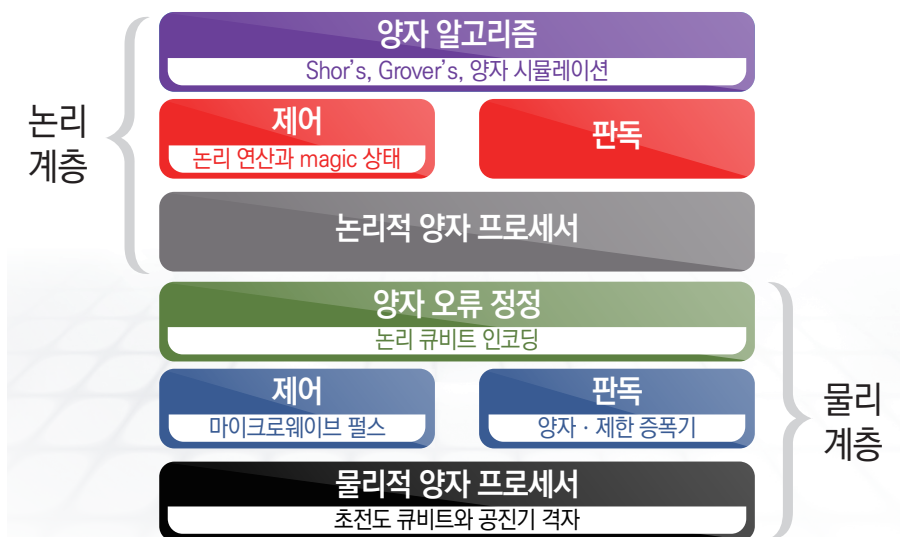
에이전트 AI에서 에이전트란 목표를 달성하기 위해 작동하는 코드 또는 메커니즘.

에이전트-환경 패러다임 인간과 환경이 상호작용하는 상황에서 개인의 지능을 구현하기 위한 모델링 접근법.

1-2. 활용을 위한 개발자 도구

양자 컴퓨터는 표준 컴퓨팅 구조가 완성된 고전 컴퓨터와 달리 그 구조에 관한 연구가 진행 중인 개발 단계로, **개발자 도구는 물론 라이브러리도 개발 중인 상황**. 이에, 하드웨어 구조 변경에 따른 소프트웨어 및 개발자 도구의 변경이 있을 수 있어 양자 컴퓨터에 대한 하드웨어적 이해가 필요함.

[그림1] 양자 컴퓨팅 스택 개념도(IBM)



출처 : Gambetta, J. M(2017)

magic 상태 내결함성 양자 계산과 관련하여 매우 좋은 특성을 가진 특정 상태, 노이즈로부터 양자 컴퓨터를 보호하기 위한 프로토콜 설계에서 자연스럽게 나타남

[그림 1]은 양자 컴퓨팅 스택의 개념도로서 최상위층의 양자 알고리즘과 응용에서부터 양자 컴퓨터의 물리적 계층까지 보여주며, 여기에 제어, 판독 그리고 양자 오류 보정 모듈 같은 여러 계층이 들어있지만, **NISQ 단계에서는 양자 오류 제어 및 논리 양자 프로세서는 구현되지 않음.**

현재의 양자 컴퓨터는 사용자가 양자 알고리즘을 기본적인 양자 논리 게이트의 배열로 지정하도록 요구하는 형태이지만, 실제 양자 하드웨어에서 양자 알고리즘을 구현하려면 서로 다른 계층에서의 몇 가지 단계가 필요하여, 양자 명령의 생성, 컴파일/임베딩, 시뮬레이션 및 실행을 다루는 소프트웨어로 양자 프로세서 풀 스택에 걸친 라이브러리를 구축 중.

- 문제 정의 및 문제 특성에 기초하여 적합한 양자 알고리즘을 선택.
- 양자 알고리즘은 양자 회로로 표현되며, 특정 양자 게이트 세트 또는 라이브러리를 사용하여 컴파일.
- 양자 프로세서에서 실행.

가. 양자 컴퓨팅 소프트웨어 개발 개념

1-1에서 살펴본 바와 같이, 양자 컴퓨팅은 다양한 과학/산업 분야로의 응용 가능성을 가진 분야이며 다양한 소프트웨어적 접근 방법이 존재.

양자 소프트웨어에는 최적화 문제를 위한 양자 소프트웨어와 양자 컴퓨팅을 가능하게 하는 고전 컴퓨팅 소프트웨어가 존재.

양자 소프트웨어

- 양자 컴퓨팅은 기존 컴퓨팅과 다른 메커니즘으로 작동하므로 양자 컴퓨팅을 위한 소프트웨어 접근법 또한 다름.
- 고전 컴퓨팅처럼, 양자 컴퓨터나 시뮬레이터가 해결할 수 있도록 양자 소프트웨어를 사용하여 문제를 모형화하고 번역.

분류

- 양자 알고리즘을 실행하는 소프트웨어.
- 양자 컴퓨터가 수행할 수 있는 소프트웨어.

양자 알고리즘 실행 소프트웨어

- 양자 소프트웨어 개발 키트(SDKs) 및 계산 플랫폼은 최종 사용자를 위한 솔루션 제공.
- 최종 사용자가 양자 알고리즘을 개발하고 테스트하는 데 도움.

양자 컴퓨터가 수행 가능한 소프트웨어

- 양자 컴퓨터는 임의 오류로 인한 성능 문제가 있으며, 오류 수정을 위한 소프트웨어 내장.
- 오류 수정 소프트웨어 또는 펌웨어는 양자 컴퓨터 안정성 높이는 낮은 수준 프로그램.

양자 소프트웨어 개발 키트, SDKs

- 고전 프로그래밍 언어 사용하는 양자 컴퓨터 또는 시뮬레이터 및 에뮬레이터에서 사용할 수 있는 양자 알고리즘 개발 도구.
- Microsoft, IBM, Google, Rigetti 같은 일부 회사는 오픈 소스 개발 키트 개발.
- 파이썬 같은 고전 프로그래밍 언어 또는 Microsoft가 개발한 Q# 같은 양자 소프트웨어 언어 사용.

계산 플랫폼 (Computational Platforms)

- 사용자가 클라우드를 통해 양자 컴퓨터에 액세스, 양자 계산 수행을 제공.
- 새로운 양자 컴퓨터 구축은 회사에 매우 비싼 투자로, 계산 플랫폼을 활용하여 양자 컴퓨팅을 실험하는 것이 합리적.
- 개발자가 실제 양자 컴퓨터에서 코드를 테스트할 수 있도록 양자 컴퓨터 회사에서 제공
- 선도적 계산 플랫폼,
예) IQ Experience(IBM), Quantum Playground(Google), LIQUi|>(Microsoft)

양자 오류 수정 소프트웨어 및 펌웨어

- 양자 컴퓨팅에는 낮은 수준의 프로그래밍 및 오류 수정 알고리즘 필요.
- Q-CTRL은 양자 펌웨어 연구 회사, 양자 컴퓨터의 효율적인 큐비트 제작을 위해 오류 수정.
- Quantum Benchmark는 양자 오류 보정 소프트웨어 및 펌웨어 연구 회사, 양자 컴퓨팅 하드웨어에 대한 오류 특성화, 오류 완화, 오류 수정 및 성능 검증 가능한 소프트웨어 솔루션 제공.

양자 소프트웨어 작동

- 양자 컴퓨터나 시뮬레이터가 해결할 수 있도록 양자 소프트웨어 사용하여 문제를 모형화하고 번역 작업 필요.
- 다른 소프트웨어 시스템에는 작동하는 다른 방법이 있음.
- 예를 들어, D-wave는 Ocean 소프트웨어가 작동.

주요 양자 소프트웨어 회사

- D-wave는 1999년 최초 설립된 양자 기술 스타트업 회사로, 상업적 양자 컴퓨터 판매 최초 회사.

[표2]
양자 소프트웨어 솔루션

회사명	양자 소프트웨어 솔루션
1QBit	1QBit SDK
Amazon	Braket SDK
CQC	tket
D-wave	Ocean
Google	Cirq / QuantumPlayground
IBM	IQ Experience / Qiskit
Microsoft	LIQ I> / QDK
Q-CTRL	BlackOpal / BoulderOpal / OpenControls
QCWare	Forge
Quantum Benchmark	True-Q
Qutech	Quantum Inspire
Rigetti	Forest
Riverlane	DeltaFlow / Anian
StrageWorks	QuantumComputingPlatform
Xanadu	StrawberryFiled / Blackbird
Zapata Computing	Orquestra

나. (현재 구축 중인) 양자 컴퓨팅 개발 라이브러리

Cirq 구글 양자 컴퓨팅 개발 라이브러리

- 양자 컴퓨터 프로그래밍을 위한 오픈 소스 프레임워크.
- 양자 회로를 작성, 조작 및 최적화하고 양자 컴퓨터 및 시뮬레이터 실행하기 위한 파이썬 라이브러리.
- Cirq는 오늘날의 잡음 있는 중간 규모 양자 컴퓨터(NISQ)를 다루는 데 유용한 프레임워크 제공.
- 회로) 큐비트에 작용하는 게이트로부터 양자 회로 구축.
- 시뮬레이션) 파동함수와 밀도 행렬을 위한 시뮬레이터 내장되어 있음. 몬테카를로 또는 밀도 행렬 시뮬레이션을 사용하여 잡음이 있는 양자 채널을 처리할 수 있음. 최첨단 파동함수 시뮬레이터 qsim과 함께 작업.

Qiskit IBM 양자 컴퓨팅 개발 라이브러리

- Quantum Information Science Kit.
- 양자 컴퓨팅 스택에 걸쳐 2가지 핵심 모듈로 구성, Qiskit Terra, Qiskit Aer
- 양자 컴퓨터 활용 예,
 - Qiskit Nature : 기저 및 여기 상태 또는 단백질 접힘에 대한 전자/바이브론 구조 계산과 같은 다양한 응용 프로그램 지원
 - Qiskit Finance : 포트폴리오 최적화를 위한 Ising 번역기, 실제 또는 임의 데이터를 위한 데이터 공급자, 다양한 재무 옵션 또는 신용 위험 분석을 위한 구현을 포함한 일련의 예시적 응용 프로그램과 툴 제공
 - Qiskit Machine Learning : 기본 양자 커널과 양자 신경망(Quantum neural networks)을 구성요소 및 양자 기계 학습 알고리즘으로 제공. 이를 회귀 및 분류와 같은 다양한 작업에 적용
 - Qiskit Optimization : 높은 수준의 최적화 문제 모델링부터 문제 자동 변환에서 다른 필수 표현으로 자동 변환, 사용하기 쉬운 양자 최적화 알고리즘 제품군에 이르기까지 모든 범위 제공

Forest Rigetti에서 만든 개발 라이브러리

- 사용자가 pyQuil 양자프로그램을 입력하면 저수준 명령어가 Quil, 즉 양자 명령어 언어(Quantum Instruction language)로 양자 컴퓨터에 전달.
- forest는 Quil, pyQuil, pyQuil로 작성한 양자 알고리즘 모음인 Grove 등 각종 구성요소 포함하는 프로그래밍 도구 모음.

QDK (Quantum Development Kit) 마이크로소프트에서 만든 양자 컴퓨팅 개발 라이브러리

- 양자 프로그램 작성하기 위한 Q#(Q샵) 자체 언어 포함.

ProjectQ 고성능 C++ 양자 컴퓨팅 시뮬레이터를 갖춘 파이썬 라이브러리

- 오픈소스 소프트웨어 출시, 무료.
- 컴파일러와 백엔드의 모듈식 구현으로 쉽게 확장이 가능

Strawberry Fields Xanadu 연속 변수 양자 컴퓨팅 위주로 만든 파이썬 라이브러리

- 양자 광학 회로 설계, 최적화 및 시뮬레이션하기 위한 풀 스택 양자 소프트웨어 플랫폼.

PennyLane Xanadu 양자 컴퓨터의 미분 프로그래밍을 위한 파이썬 라이브러리

- 다른 플랫폼에 적용할 수 있는 크로스 플랫폼 형식
- 고전 계산과 양자 계산을 연결하는 하이브리드 계산 구축 및 최적화 제공
- 신경망과 같은 방식으로 양자 컴퓨터 훈련 가능하며 다른 기계 학습 라이브러리도 사용 가능

Ocean D-Wave 양자 컴퓨팅의 양자 어닐링(Quantum annealing)용 파이썬 라이브러리

CHAPTER
2장

국내외 양자 컴퓨터 활용 동향



2-1. 국가기관 단위

■ 유럽 양자 플래그십 QuiC

(Quantum Industry consortium, 유럽 양자 산업 컨소시엄)

- 2021년 초 설립, 양자 산업 건설하기 위한 광범위한 유럽 관계자 네트워크 구축
- 양자 기술의 유럽 산업 경쟁력 높이고 비즈니스와 시민의 경제 성장과 가치 창출 촉진

■ 미국 국가 양자 주도 QED-C

(Quantum Economic Development Consortium, 양자 경제 개발 컨소시엄)

- 국립표준기술 연구소(NIST)가 지원
- 미국의 견고한 상업용 양자 기반 산업과 관련 공급망 활성화 및 성장

● 목표

- 양자 기반 기술, 다양한 응용 실현, 기술 표준 및 인력 격차 해소

2-2. 기업 단위

■ QUTAC

- 독일의 기술 선도 10개 기업(BASF, BMW Group, Boehringer Ingelheim, Bosch, Infineon, Merck, Munich Re, SAP, Siemens 및 Volkswagen)이 모여 공동으로 QUTAC(Quantum Technology and Application Consortium) 설립

● 목표

- 양자 기술 및 양자 컴퓨팅을 실제적인 산업 응용으로 발전시키는 것이 목표
- 기술, 화학 및 제약, 보험 및 자동차 산업에 대한 양자 컴퓨팅 기술의 응용 수준이 시장에서 경쟁력을 갖는 것

◆ QUTAC에 의제된 분야별 양자 문제

- 머신러닝 : 대체 모델(Surrogate model)의 편미분 방정식, 양자 도움 강화 학습
- 최적화 : 디자인, 소프트웨어 테스트 및 증명, 이미지, 함대 관리, 자동화 생산 계획, 장비 외형 테스트, 수요 공급 역량문제, 보험, 장비 경로 문제
- 시뮬레이션 : 전자기 반응을 고려한 디자인 최적화, 질병 확산 제어를 위한 매개 변수의 식별 및 제어, 양자화학 및 분자역학(제약 개발 및 배터리 개발을 위한)
- 양자 암호 : 차세대 양자 암호

■ IBM-일본 양자컴퓨팅

◆ 일본-IBM 양자 파트너십

- 2019년 IBM과 도쿄대는 일본 전역의 대학과 기업이 양자 연구에 참여하도록 초청하는 국가 협약인 일본-IBM 양자 파트너십 시작
- 가와사키 비즈니스 인큐베이션 센터에 구축된 IBM의 주력 초전도 컴퓨터
- 파트너십 건설을 위해 작년부턴 도쿄대와 IBM이 양자혁신 이니셔티브 컨소시엄을 함께 설립
- 화학으로부터 금융에까지 일본 연구자들의 양자실험 지원

■ Google

◆ 양자 컴퓨터 센터

- 실용적인 양자 컴퓨터 개발을 목표로 계획
- 구글 쿼텀 AI 캠퍼스는 캘리포니아 샌타바버라에 있으며, 구글의 첫 번째 양자 컴퓨팅 연구소는 이미 인력을 충원하고 연구를 시작함

◆ 양자 정보 시뮬레이션

- 파이선 기반의 양자 컴퓨터 프로그래밍을 위한 오픈 소스 프레임 워크 Cirq를 활용한 양자 시뮬레이션 라이브러리 개발
- 화학 및 재료 과학을 위한 OpenFermion, didw, 머신 러닝을 위한 TensorFlowQuantum, 양자회로 시뮬레이터 qsim, 실제 실험을 위한 ReCirq
- 최근 이온 기반 양자컴퓨터 IonQ와 Cirq의 프레임 워크 통합 중

■ AXA

- 프랑스의 보험, 투자관리, 금융 서비스 회사
- 양자 장비를 기반한 양자 암호화로 100% 안전한 데이터 통신을 구축하는 것이 목표
- ICFO 광학 연구소의 양자 암호학 연구에 1.7 백만 유로를 투자

■ Ericsson

- 스웨덴의 네트워킹 및 통신 회사
- 양자 푸리에 변환 및 양자 선형 솔버를 통한 사용자 데이터 처리 방법 개발 목표
- 양자 알고리즘을 통한 네트워크의 자동 이상 감지 기술 목표

■ GSK (GlaxoSmithKline plc)

- 영국의 제약회사
- CQC (Cambridge Quantum Computing), Strathclyde 대학과 제약 개발을 목표로 하는 양자 알고리즘 설계 및 구현을 위한 파트너십 체결

■ Mitsubishi Motors

- 일본의 자동차 제조회사
- 리튬-에어 배터리의 산소와의 반응 메커니즘을 양자 컴퓨터를 통해 시뮬레이션 수행
- 화학 시스템을 계산하기 위해 더 많은 큐비트를 가진 양자 컴퓨터 구축 또는 가지고 있는 큐비트 내에서 문제를 최적화해야 함

■ Novo Nordisk

- 덴마크의 제약회사
- 복합 생물학적 과정 및 생체 분자를 이해하고 예측하기 위한 양자 시뮬레이터 개발을 위해 2개의 새로운 연구센터에 108.6 DKK(덴마크 크로네)를 투자

■ Willis Towers Watson

- 영국의 위험 관리, 보험 중개 및 투자 자문 회사
- 위험 정량화 및 자본 할당 모형화를 수행하기 위해 마이크로소프트와 양자 계산 개발을 위한 독점 계약

■ JP Morgan

- 미국의 투자은행
- 양자 기술 연구팀을 꾸리고, 양자 머신러닝과 양자 머신러닝을 금융에 적용하기 위한 연구를 진행 중

참고문헌

- ① 이준, 이상민 (2019). 과학기술 한계 극복의 길을 여는 양자컴퓨터, KISTI ISSUE BRIEF 제 11호, 한국과학기술정보연구원(KISTI)
- ② 조성선 (2018). 양자컴퓨터 개발 동향 및 시사점, 2018.2. ICT SPOT ISSUE, 정보통신기술진흥센터(IITP).
- ③ 김한영 (2020). 양자 알고리즘의 세계, HORIZON, 고등과학원(KIAS).
- ④ Brooks, M. (2019). Beyond quantum supremacy: the hunt for useful quantum computers. *Nature*, 574(7776), 19–22.
- ⑤ Damian S. steiger (2018). ProjectQ: An open source software framework for quantum computing. *Quantum*, 2, 49
- ⑥ Dunjko, V., & Briegel, H. J. (2018). Machine learning & artificial intelligence in the quantum domain: a review of recent progress. *Reports on Progress in Physics*, 81(7), 074001.
- ⑦ Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum*, 2, 79.
Gambetta, J. M., Chow, J. M., & Steffen, M. (2017). Building logical qubits in a superconducting quantum computing system. *npj Quantum Information*, 3(1), 1–7.
- ⑧ Grover, L. K. (1997). Quantum computers can search arbitrarily large databases by a single query. *Physical review letters*, 79(23), 4709.
- ⑨ Giurgica-Tiron, T., Kerenidis, I., Labib, F., Prakash, A., & Zeng, W. (2020). Low depth algorithms for quantum amplitude estimation. *arXiv preprint arXiv:2012.03348*.
- ⑩ LaRose, R. (2019). Overview and comparison of gate level quantum software platforms. *Quantum*, 3, 130.

- ⑪ Mark Fingerhuth (2018). Open source software in quantum computing. PLOS, 13, 12
Minato, M. (2018). 量子コンピュータの最新動向, GREE ventures.
- ⑫ Zalka, C. (1999). Grover's quantum searching algorithm is optimal. Physical Review A, 60(4), 2746.
- ⑬ Zhu, E. Y., Johri, S., Bacon, D., Esencan, M., Kim, J., Muir, M., ... & Wright, K. (2021). Generative Quantum Learning of Joint Probability Distribution Functions. arXiv preprint arXiv:2109.06315.

Q REPORT

양자정보과학 리포트

양자 컴퓨터의 활용

필자 | **이정용** 양자정보연구지원센터 연구원
임주은 양자정보연구지원센터 연구원

발행일 | 2021.12.01.

발행처 | 성균관대학교 양자정보연구지원센터
16419 경기도 수원시 장안구 서부로 2066
<https://www.qcenter.kr>

※ 본 [양자정보과학 리포트]의 내용은 집필진의 견해입니다.