2024년 11월 17일

양자 컴퓨터의 현황

양자컴퓨터 기술은 단순한 문제를 해결할 수 있는 도구로서부터 크고 어렵고 힘든 문제 마저도 풀 수 있는 기술로 성숙해 가고 있다. 양자 컴퓨터의 기본 요소들은 전형적인 컴퓨터의 요소들 과 흡사하다. 다만 양자 역학의 분야에 알 맞게 조정되었을 뿐이다. 깊이 들어가기 전에 양자 컴퓨터의 기본 개념을 설명하겠다.

Qubits:

Qubit은 디지털 컴퓨터의 Bit와 같이 양자 컴퓨터의 기본 단위이다. 그러나 하나의 Qubit은 여러 Superposition(중첩)의 논리 범위를 표현할 수 있기 때문에 더 많은 복잡한 문제를 해결할 수 있다. 예를 들면 Qubit은 $|\psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta|1\rangle$ 로 표시된다. 여기서 α 와 β는 복소수 숫자이고 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 의 관계를 가진다. 따라서 하나의 Qubit 로 여러 계산을 동시에 수행할 수가 있다.

Gate 와 Algorithm:

양자 Gate는 전통 컴퓨터의 Gate처럼 기본 상태의 계수를 조정하는 역할을 하여 복잡한 계산을 수행한다.

양자 Algorithm 종종 다음과 같은 형태를 따른다:

1. 데이터의 양자 상태, 초기 조건을 정의한다.
2. 문제의 답과 직접 관계없는 부분을 최소화하면서 답에 접근하는 연산을 수행한다.
3. 양자 시스템을 측정하여 어떤 State가 가장 좋은 정보를 가지고 있는 지를 결정한다.

그러고 보면 양자 Algorithm은 기존 컴퓨터 Algorithm과 별로 다를 것은 없다.

Quantum Annealing:

Quantum Annealer는 카나다의 D-Wave사가 Potential 해법 중 최적의 해를 구하게 해주는 계산 모델이다.

물리적인 구현:

양자 컴퓨터도 Qubit처럼 작동하는 물리적인 시스템이다. 그러나 양자 상태는 항상 주변의 상태에 영향을 받기 때문에 양자 레벨에서의 대략치를 제시하게 된다. 이 문제를 양자 노이즈(NISQ)라고 부른다. 이 노이즈 문제를 감소시키기 위해서는 수 백만 개의 Qubit 데이터 스케일링이 필요할 수도 있게 된다.

Superconducting Qubit:

초전도 Qubit은 에너지 준위를 Qubit의 상태로 정의하는 전자회로이다. 이 Qubit를 초전도 재료로 2차원 필름을 만들고 이를 극저온 상태로 냉각시켜 열에너지의 간섭을 받지 않도록 만든 것이다. 실제 제어는 마이크로 웨이브 펄스로 사게 된다.

하드웨어 기술:

하드웨어 기술은 아직도 유동적이다. Trapped ion과 초전도 Qubit 이 광범위하게 알려져 있지만 Neutral atom, Photonics, 그리고 Silicon Qubit 등도 거론되고 있다.

시스템과 소프트웨어:

현재 시점에서 양자 컴퓨터에 필요한 시스템과 소프트웨어는 극히 제한적이다. 그러나 광범위하게 사용될 수 있는 해결 방법이 연구 중에 있으며 대개 다음과 같은 방향으로 진행되고 있다.

1. Quantum Stack 구축. 기존하는 디지털 컴퓨터와 완전히 다른 양자 계산 원리를 이용할 수 있는 Quantum Stack 먼저 구축해야 할 것이다.
2. 새로운 도전 극복: 어기에 포함되는 문제들은 제한적인 Qubit수와 장거리

양자 얽힘의 구현 등이다.

3. 하드웨어 와 소프트웨어 솔루션공동 설계: 하드웨어와 소프트웨어 솔루션을 동시 개발함으로써 현재의 제한된 하드웨어의 한계를 극복할 수 있을 것이다.
4. Fault-tolerant Quantum Architecture의 개발: Qubit를 주변 환경으로부터 격리할 뿐만 아니라 다른 Qubit과의 연동을 쉽게 실현 수 있도록 양자 컴퓨터 주변의 자연환경에 잘 적응하도록 해야 할 것이다.
5. 디지털 컴퓨터와 양자 컴퓨터 간의 융합 실현: 예를 들면 양자컴퓨터에 처리된 부분을 포함하는 Algorithm 사용을 더 편하게 하기 위해서는 디지털 컴퓨터에 의한 pre- 또는 post-processing 가 꼭 필요할 것이다,

양자 컴퓨터의 다섯 가지 기회와 도전:

위에서 말한 다섯 가지 해결해야 할 문제점들은 양자 컴퓨터가 상용화되어 일반 대중이 활용할 수 있는 단계에 도달하지 못했다는 것을 말한 것이다. 그러나 양자컴퓨터의 잠재적인 능력을 실현하기 위해서는 아직도 극복해야 할 문제점들을 극복해야 한다. 그렇지만 정보처리, 과학계나, 산업적인 분야에서 활용 수 있는 기회는 있다.

1. Qubit의 가용성. 실제로 현재는 충분한 고품질, 오류 정정된 Qubit이 존재하지 않는다. 이 문제를 해결하려면 Quantum Memory Management (QMM)을 잘 활용할 필요가 있다. QMM의 활용으로 수행 중인 작업과 잘 맞는 Qubit을 확보할 수 있게 할 수 있다.
2. 제한된 접속능력은 장거리 양자 얽힘을 불가능하게 한다. 이상적으로 양자 얽힘을 이용하면 많은 Qubit을 동일 작업을 시행할 수 있다. 그러나 현재로는 제한된 접속능력의 장치들이 주로 생산하고 있어 장거리 양자 얽힘의 실현이 불가능한 상태이다.
3. 회로 단계의 Fault-Tolerance 지원의 부족. 현재 Fault-tolerance Qubit을 만들기 위한 오류 교정 (Error correcting)에 어느 정도 진전은 있으나 이를 범용 양자 컴퓨터에 적용하기에 많이 부족한 상태이다.

4. 검정과 디버깅(Debugging). 양자단계의 측정이 주는 문제 때문에 검정과 디버깅을 매우 힘들게 한다. 특히 시스템이 커질 경우에는 이 문제는 더욱 심각해진다.
5. 양자 컴퓨팅 as-a-service. 클라우드 기반의 양자 컴퓨터 서비스는 양자 컴퓨터를 클라우드에 올려 놓아야 하지만 양자 컴퓨팅을 대중에 소개하는 좋은 계기가 된다.

동호회와 교육

양자 컴퓨팅을 대중에게 소개하기 위해서는 기술자들로부터 상업적 수요를 만족시키는 양자 컴퓨터를 설계할 수 있는 교육을 받아야 할 것이다. 고등학교와 대학, 그리고 양자 컴퓨터를 설계하기를 원하는 기성 기술자를 교육하기 위한 교육 프로그램아 필요할 것이다. 현재 몇몇의 온라인 교유 프로그램이 있다. 예를 들면 IBM의 Qiskit textbook과 IEEE의 Quantum Initiative등이 있다. 이들을 이용하면 양자 컴퓨팅을 쉽게 배울 수 있다.

Reference:

IEEE Computer Society, 2024 TECH Predictions (02/23/20

Quantum Insider, December 2023

양자 컴퓨터 회사들

1. IBM: Introduction of 1121 Qubit IBM Condor in December 2023.
2. Google Quantum AI
3. Microsoft
4. AWS Braket (Amazon Bracket)
5. Alibaba Group: In November, shut down Quantum Laboratory
6. Baidu
7. Eviden (ATOS Computing)
8. Intel: In June, 2024, unveiled Quantum research chip, Tunnel Falls.
9. Nvidia
10. Alice and Bob
11. Alpine Quantum Technology
12. Anyon Systems
13. Atlantic Quantaum
14. Atom computing
15. Bleximo
16. C12 Quantum Electronis
17. D-Wave
18. DIRAQ
19. EdroQ

20. Infleqtion
21. IQM
22. IONQ
23. Nord Quantique
24. Orca Computing
25. Origin Quantum
26. Oxford Ionics
27. Oxford Quantum Circuits
28. PasQal
29. Photonic
30. Planqc
31. PsiQuantum
32. Quantum Computing Incorporated
33. QILIMANJARO
34. Quera
35. Quandela
36. Quantware
37. Quatinuum
38. Quantum Brilliance
39. Quantum Circuits
40. Quantum Motion
41. Quantum Source

42. Quix Quantum
43. Rigetti Computing
44. Seeqc
45. Silicon Quantum Computing
46. TuringQ
47. Universal Quantum
48. Xanadu
49. 1Qbit
50. Anostiq
51. Aliro Quantum
52. Algorithmiq
53. A Star Quantum
54. Beit
55. BosonQ pSI
56. Entropica Labs.
57. Horizon Quantum Computing
58. HQS Quantum Simulation
59. JIJ
60. Kuano
61. Kvantify
62. Multiverse Computing
63. Phaseccraft

64. Polaris
65. Proteinqure
66. QC ware
67. Quantatica
68. Quantum Generative Marterials
69. Qubit Pharmaceuticals
70. QunaSys
71. Riverlance
72. SandboxAQ
73. Strangeworks
74. Terra Quantum
75. Zapata AI
76. ClassiQ
77. Quantum Machines
78. QuantrolOx
79. Q-CTRL