



News & Highlights

谷歌公司向量子计算迈出了一大步

Chris Palmer

Senior Technology Writer

2019年10月，谷歌公司的科学家们宣布，其量子计算机能在200 s内解决一个传统计算机得花费数年（据谷歌公司估计为10 000年）时间才能解决的问题，这一消息发布后引起了计算机界的热议[1]。这项成就遭到了国际商用机器公司（International Business Machines Corporation, IBM）的科学家们的质疑，以及被该领域的许多专家认为太深奥而不予重视，但它向谷歌公司的研究人员发出信号，即量子计算机可以实现“量子至上”，并且在某些任务上，量子计算机的表现甚至超越了世界上最强大的传统计算机。未来，量子计算机（如谷歌公司的量子计算机）将具有更稳健的性能和更强大的功能，它可以利用亚原子级的物质特性来显著提高计算机的处理能力，这可能会给计算、加密数据以及自然界中一些最神秘方面的研究带来革命性的变化。

“这无疑是一个重要的结果，说明量子计算机可以在绝对短的时间内（与传统计算机相比）完成特定任务”。美国洛杉矶南加利福尼亚大学（University of Southern California, USC）的工程学教授、量子信息科学技术中心主任、Lockheed Martin量子计算中心联合主任Daniel Lidar说道，“尽管谷歌公司解决的问题非常具体，也没有被认为特别有用，但是，对于在未来10年内能够看到非常实用的量子计算机的出现，我并不会感到惊讶。量子模拟看起来很逼真并且它很有前途，通过这种模拟，量子计算机可以模拟另一个量子系统及其模型。

虽然10年的时间似乎很遥远，但量子计算的起源可以追溯到1981年，同年IBM公司发布了它的第一台个

人计算机。在1981年的一次演讲中，物理学家Richard Feynman提出，基于量子力学规则的计算机可以很好地模拟量子力学现象，如化学反应和电子在半导体中的流动[2]。这样的计算机利用的是量子系统所独有的纠缠现象，即两个粒子（或多个粒子）即使相距很远，它们似乎也以协调的方式运行着。这些神秘的联系使得量子系统很难通过传统计算机进行模拟。我们预计的是，量子计算机将被证明更适合解决复杂的问题，如设计更好的药物和更高效的太阳能电池。

而且，与普通计算机相比，量子计算机有潜力以更快的速度进行计算。标准计算机可以存储数据并使用1位或0位进行计算。然而，量子计算机使用量子位元，这些量子位元可以同时为1位和0位，至少在它们被测量之前是这样，而且它们的状态是已知的。因此，每增加一个量子位元，状态的总数就会增加一倍。一个量子位元是两种可能的状态，两个量子位元是4种可能的状态，三个量子位元是8种可能的状态，依此类推。当到达100个量子位元时（假设这些量子位元表现良好），地球上的每个原子将都需要储存用于描述量子计算机状态的比特[3]。

谷歌公司通过将由超导金属环组成的量子位元串在一起建造了量子计算机，这些超导金属环被屏蔽在一个温度保持在绝对零度以上的房间里，并且不受嘈杂的非量子世界的干扰（图1）。谷歌公司最近通过一项突破性实验测试了它的量子计算设备（一个名为Sycamore的54个量子位元阵列的设备）（图2）是否可以正确验证量子随机数生成器的结果。Sycamore在200 s内对随机量子



图1. 艺术家通过将谷歌公司的Sycamore处理器嵌入到一个低温恒温器设备中对其进行再现，该设备可以将处理器的量子位元冷却到绝对零度以上的几分之一。低温有助于防止噪声干扰量子位元。图片来源：Forest Stearns, Google AI Quantum Artist in Residence (CC BY-ND 4.0)。

电路进行了100万次采样。该团队在传统计算机上模拟相同的量子电路时发现，即使是世界上最强大的IBM的Summit超级计算机也需要大约10 000年的时间才能完成相同的任务[1]。Lidar说：“除了惊人的速度之外，谷歌公司在能耗方面也取得了明显的胜利。”他指出，运行Sycamore仅需要几千瓦的功率，而运行Summit则需要几兆瓦。

该领域的一些专家将谷歌公司的成就比作莱特兄弟1903年的第一次飞行，因为这只是在概念上证明了这一想法，其实际应用尚需时日。其他研究人员对这一里程碑式的发现不予理会，因为该计算太过具体，且其不太可能被应用于更普遍的计算应用程序。此外，IBM的科学家发表了一篇博客文章称，理论上，他们可以在不到两天半的时间内通过Summit超级计算机运行量子计算[4]。

尽管量子计算还处于起步阶段，但资金已被源源不断地注入该领域。因为量子计算特别适用于分解大量数据（这是许多现代数据加密方案的关键之处），所以世界各国都将其视为国家安全的重中之重。中国（4亿美元）[5]、美国（12亿美元）[5]和欧盟（11亿美元）[6]都投入了大量资金。此外，包括阿里巴巴、百度、谷歌、惠普、华为、IBM和腾讯[7]在内的多家计算机巨头都

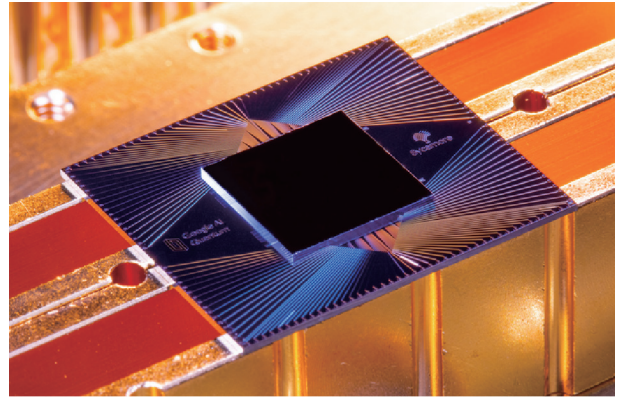


图2. 谷歌公司的Sycamore处理器有54个量子位元（在量子计算机中存储和处理数据的基本单位）排列在二维网格中，其中每个量子位元都与其他4个量子位元相连。这种架构为芯片提供了足够的连通性，以使量子位元状态能够在整个处理器中进行快速交互，从而使Sycamore处理器即使在执行非常具体（但不是特别有用）的任务方面甚至也胜过最强大的传统计算机。图片来源：Erik Lucero / Google (CC BY-ND 4.0)。

在进行自己的量子研究。初创企业也希望在该行业立足，私人投资者在2017年和2018年向数十家初创公司投资了4.5亿美元[7]。

然而，在利用量子计算能力解决实际问题之前，有一个主要障碍需要我们克服，即量子位元的出错问题。环境中的噪声，包括机械振动、温度变化或杂散电磁场，会削弱量子位元之间的协调性。这可能会降低机器的可靠性。一种潜在的解决方案是向系统中添加错误纠正例程。然而，量子计算涉及每个量子位元需要至少5个纠错量子位元[8]。额外的量子位元会增加计算成本和复杂程度。谷歌公司最大的量子计算机有72个量子位元，但是，考虑到噪声问题、其他低效来源，以及将量子位元以一种可以解决各种各样问题的方式组合在一起所面临的挑战，据估计，一台通用量子计算机大约需要100万个量子位元[9]。

为了绕过量子位元的挑剔本质，一些研究小组正在采用一种不同的硬件方法。微软公司正在尝试使用一种被称为拓扑的模糊的数学理论来创建一种新型的量子位元，这种量子位元要比当前系统中使用的量子位元强大得多[10]。一家位于美国马里兰大学帕克分校的初创公司IonQ正在尝试使用激光读取被困在磁场中的镱离子的量子状态[7]。另一家位于美国加利福尼亚州帕洛阿托市的初创公司PsiQuantum正在尝试通过在硅片上铺设轨道来引导光子产生量子位元[7]。这种方法的好处是，量子位元可以在现有的半导体制造厂中产生。该公司认为，它可以用大约8年的时间制造出一台百万量子位元的量子计算机[7]。

鉴于单个量子位元的预期脆弱性，Sycamore似乎是一个相当强大的系统。Lidar说：“除了解决随机数问题，我对Sycamore量子位元极高的校准和控制水平，以及相对较低的去相干性和噪声都印象深刻。”

不过，总的来说，需要我们克服的其他技术障碍令许多专家感到担忧。在2018年12月的一份报告中，美国国家科学院、国家工程院和国家医学研究院警告说，如果量子计算机的实际效用不能很快显现，投资可能会耗尽[11]。位于美国俄克拉荷马州斯蒂尔沃特市的俄克拉荷马州立大学（Oklahoma State University）的工程学教授Subhash Kak说：“没有人想错失良机，但我认为，在某一时刻，我们将很难重新审视技术所处的地位和所面临的挑战。”Kak在量子力学和密码学方面发表了大量著作。他认为，任何数量的纠错量子位元都不能解决与噪声相关的问题。“就我个人而言，我相信它们永远不会以商业规模的形式进行建造。”他说，“因此，现在所发生的一切都是对基础科学的大规模投资，这未必是一件坏事。”

然而，Lidar则更为乐观。“自20世纪90代中期以来，量子计算在本质上已经从一种理论活动转变为一种以硬件为基础的快速发展的产业，而且全球有成千上万的活跃的研究人员得到了大量资金的支持。”他说，“就量子计算本身而言，谷歌公司已经展示了一种通往量子系统

的途径，该系统在无需进行过多工程创新的条件下就可以扩展至数百个量子位元。而且，到那时，模拟量子系统的模型将变得非常有趣。”

References

- [1] Arute F, Arya K, Babbush R, Bacon D, Bardin JC, Barends R, et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature* 2019;574(7779):505–10.
- [2] Feynman, RP. Simulating physics with computers. *Int J Theor Phys* 1982;21:467–88.
- [3] Overbye D. Quantum computing is coming, bit by qubit [Internet]. New York: New York Times; 2019 Oct 21 [cited 2019 Dec 23]. Available from: <https://www.nytimes.com/2019/10/21/science/quantum-computer-physics-qubits.html>.
- [4] Pednault E, Gunnels J, Maslov D, Gambetta J. On “quantum supremacy” [Internet]. Armonk: IBM; 2019 Oct 21 [cited 2019 Dec 23]. Available from <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/>.
- [5] Metz D. Google claims a quantum breakthrough that could change computing [Internet]. New York: New York Times; 2019 Oct 23 [cited 2019 Dec 23]. Available from: <https://www.nytimes.com/2019/10/23/technology/quantum-computing-Google.html>.
- [6] Castelvecchi D. Europe shows first cards in €1-billion quantum bet. *Nature* 2019; 563(7729):14–5.
- [7] Gibney E. Quantum gold rush: the private funding pouring into quantum start-ups. *Nature* 2019; 574(7776):22–4.
- [8] Knill E, Laflamme R. A theory of quantum error-correcting codes. *Phys Rev A* 1996; 55(2):900–11.
- [9] Dyakonov M. The case against quantum computing [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2018 Nov 15 [cited 2020 Jan 10]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/computing/hardware/the-case-against-quantum-computing>.
- [10] Brooks M. Beyond quantum supremacy: the hunt for useful quantum computers. *Nature* 2019; 574(7776):19–21.
- [11] Quantum computing progress and prospects [Internet]. Washington, DC: The US National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. [cited 2019 Dec 23]. Available from: <https://www.nap.edu/catalog/25196/quantum-computing-progress-and-prospects>.