

崛起中的量子计算

姚期智

尽管量子计算已经被谈论了很多年，很多计算机科学家仍然觉得它是一个非常神秘的事情。但在未来计算机领域，量子计算将是最令人兴奋的发展之一。什么是量子计算？它为什么如此令人兴奋？它比传统计算机又强大在哪里？今天，我们一起来了解一下崛起中的量子计算。



姚期智
图灵奖得主
清华大学交叉信息研究院院长

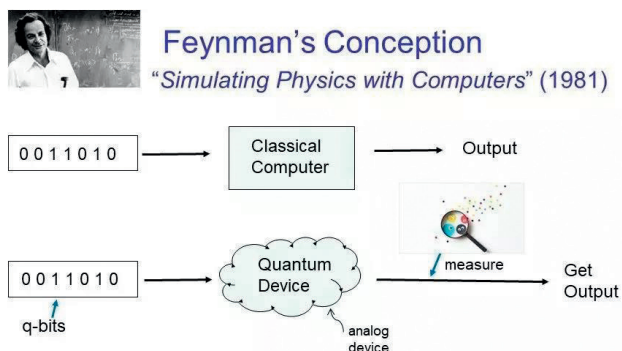
什么是量子计算？

当图灵和其他计算机探索者在研究计算机的时候，人们觉得自己已经知道计算的极限是什么了。但在1981年，物理学家理查德·费曼提出了一个问题“计算机能否有效地模拟量子物理系统？”

如果使用经典计算机来模拟，需要数百万年才能完成模拟。但是如果抛开传统的计算机原理，使用量子材料，或许可以创造出一种新的计算机，获得一种新的计算模式。这就是量子计算机。

有别于经典计算机使用二进制比特作为输入，量子计算机输入的是量子比特，可以表示经典的0、1状态，也可以表示更多的状态。量子设备是一种模拟设备。对于传统计算，输出的结果就是最后的数字，而在使用量

子设备做计算的时候，需要对输出结果进行专门的测量，最后才能得到输出。



传统计算机和量子计算机的运行方式也不同。传统计算机中的主要计算方式是使用布尔运算操作普通比特，而量子计算机是在量子空间里对量子比特进行模拟操作，来模拟量子状态。

什么使得量子计算如此强大？

在量子世界里，由于量子比特的量子叠加态特性，量子计算机拥有了并行计算的能力。

那么量子计算到底有多强大呢？举个例子，如果我们对四百位整数进行因式分解，现在最快的超级计算机也需要六十万年，如果是做量子计算机，只需要几个小时，甚至有人说几分钟就可以做到。当然，量子计算机能做的不仅仅是整数的因式分解，我们希望能够做出大型的量子计算机，解决很多现在做不了的事情，比如密码破解，模拟量子物理系统，模拟材料学、化学和生物学，以及人工智能中的很多问题。

那么，量子计算机究竟是如何加速计算的？

这个问题可以通过介绍由 Peter Shor 发明的大数分解量子算法来解释。首先，我们需要回到物理学的一个分支—X 射线晶体学，通过 X 射线

来分析物体的结构。1913 年，Braggs 父子推导出了 X 射线的衍射现象的数学公式。假设有一个未知结构的晶体，你从各个角度对这个晶体拍摄了一些 x 射线照片，现在根据数学公式，你可以恢复出晶体的结构。这个方法是非常成功的，由此产生了许多诺贝尔奖。

我们是否可以借助于这一方法来分析一个整数 N ？利用算法构建一个“晶体”，然后利用人工光源，例如 X 射线，去照射它，得到“晶体”的衍射图，最后用得到的衍射图分析出整数 N 的“结构”。现在问题是这个“晶体”以及得到的“衍射图”体积非常巨大。事实上，我们其实并不需要整张图片，只需要几个样本点就够了，并不需要指数级的样本数。那么如何去进行采样？根据光子的波粒二象性，一个光子通过装置后的概率分布将与经典情形相同。因此，我们只需要模拟一个光子透过“晶体”产生的衍射图。与经典计算机相比，量子计算机可以以指数级的效率完成这个模拟过程，比传统的计算机快非常多倍。

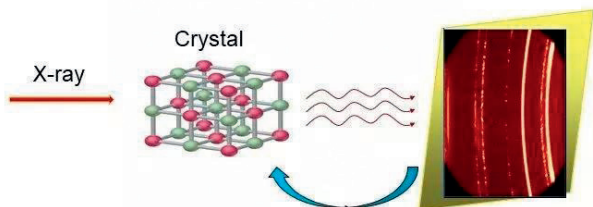
量子计算最新研究进展

20 年前，有一些物理学家可能会说量子计算机永远无法实现，而 20 年后的今年，量子计算机已经逐渐浮出水面。例如，关于使用什么东西做量子处理器的问题。20 年前，大家说有 20 种方式做量子计算机，而现在人们已经发现只有几个选项是潜力比较大的，比如超导量子比特、离子比特、钻石量子比特、拓扑量子比特，它们很有可能成为未来做

Crystallography

X-Ray Crystallography

- ◆ 1913, *W. Henry Bragg & W. Lawrence Bragg* derived math formula for X-ray diffraction patterns
- ◆ Taking X-ray photos → “Compute” Crystal Structure!



量子计算机的路径。

所有的技术方案都有自己的长处和不足。比如，金刚石量子计算机可以在室温下工作并且拥有固态的晶体结构，容易进行扩展；超导方案目前在可操作的量子比特数上方面是领先的，但是必须在低温环境下工作；拓扑方案有更好的纠错能力，但是目前进展比较缓慢。

目前，量子计算已经成为了一个主流研究方向，学界对这一领域的相关奖励机制也越来越健全，不久的将来我们能看到很多聪慧的科学家在这个领域钻研深耕。但是同时，量子计算的发展在每一个阶段都是非常困难的，想要增加量子比特数需要耗费大量的心血和时间。

为什么量子计算对未来如此重要？在过去的一个世纪，计算机硬件领域有很多的进展，而量子计算的出现使得计算机在非常基础的层面也可

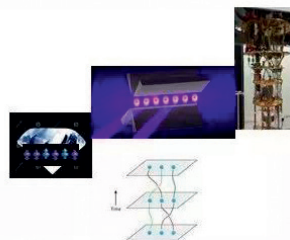
以有很多创新。不仅是硬件领域，AI 也是量子计算关注的重点。现在的面部识别机器已经在某些方面超越了人类，量子计算虽然不能全面地和人类匹敌，但也可以在某些方面一较高下。

因为量子计算的出现，我们最终可以去预测未来。至少根据目前的理解，一旦拥有了量子计算机，人们就能掌握自然中最神秘的部分。可以将自然作为基准，看看我们和自然之间到底有多大的差距。

总而言之，量子计算机是一个革命式的产品，它和传统计算机完全不同，未来我们还会经历一个非常困难的时期。在未来，量子计算将产生巨大的影响，我们完全有理由说未来“量子计算+AI”将成为新的时代主题。这两大主题的交织下又将产生什么新的应用，让我们拭目以待！

Leading Technologies for Quantum Computing

- Superconducting qubits (超导量子比特)
- Trapped ions/atoms (离子比特)
- Diamond qubits (钻石量子比特)
- Topological qubits (拓扑量子比特)



布莱尔分数 Brier score

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (P_t - O_t)^2$$

预测概率
实际结果

样本数量

布莱尔分数表示了所有样本的预测概率值与它们实际结果的均方误差。这个分数范围为0到1，越低代表预测越准确。

*译者注：

举例说明，比如预测过去某一天会不会下雨，预测值为100%，真实情况为1（表示下雨），则布莱尔分数为0，最佳的布莱尔分数

如果预测值为30%，真实情况为0，则布莱尔分数为0.09，也是不错的预测值

Chris Albon