

美国宣布实现“量子霸权”

2019年10月23日，谷歌的重磅工作“利用可编程超导处理器实现量子霸权”被正式刊文介绍。该文表示谷歌开发出的一款54量子比特的超导量子芯片“Sycamore”对随机量子线路采样100万次只需200秒，而目前最强的传统超级计算机Summit要得到类似的结果需要长达1万年。

不过IBM表示，summit的缺点是内存不足，但运算能力并没有谷歌说的那么不堪——通过使用内存和硬盘混合存储的方案，Summit可以在60个小时的时间内完成Sycamore的100万次采样，而不是1万年，谷歌低估了Summit的计算能力！但60小时毕竟也是200秒的1080倍，这个结果无疑已经证明了Sycamore的能力，这也是量子计算首次战胜传统计算！

谷歌量子计算机Sycamore

一石激起千层浪。该消息像核弹爆炸一样迅速席卷全球，物理学界的科学家们议论纷纷。谷歌公司骄傲地宣布：谷歌已实现“量子霸权”！

“量子霸权”指的是什么呢？一般认为，如果量子计算机在“某些特定问题”上（例如上文提到的随机量子线路采样）的计算能力超过了传统计算机，那么就被认为实现了“量子霸权”。专家估计，如果量子计算机能操控超过49个量子比特，其在某个特定问题上的计算速度就有可能超过包含超级计算机在内的任何传统计算机。

“某些特定问题”指的是经过精心设计，非常适合于量子计算设备发挥其计算潜力的问题。目前，这些问题只是为数甚少的无任何实际意义的特殊问题。所以当我们惊呼量子计算机飞速发展的同时，我们也应该明白，现在量子计算还无法解决任何一个有应用价值的问题。只是其巨大的应用潜力，使得各个国家都不敢懈怠。

量子比特可以既为1又为0

如果让你在一只苍蝇、一只鱼、一只鹰还是一个孙悟空中选择，你会选哪一个？你肯定选孙悟空！孙悟空可以变成其他三种动物，一个就可以顶仨还不占地方。其实相对于传统计算机而言，量子计算机就真的可以算得上是百变的孙悟空！为什么这么说呢？这得从“比特”二字谈起了。

什么是比特呢？比特是二进制数字中的位，例如二进制数字“010”，它的位数就是3比特。二进制数字的每一位只能为“0”或者为“1”，这恰好与电子计算机的电路结构相吻合——由二极管和三极管组成电子元器件在面对不同的电流时，只能存在两种状态——导通或者不导通。导通意味着电流能流过，执行该命令，这种状

态我们用“1”来表示；不导通意味着电流不能流过，不执行该命令，用“0”表示”。所以电子计算机是二进制的。

那么，什么是命令呢？比如我们现在进行一则加法运算，假设“加1”是某个步骤的一个命令。当计算机运行到该步骤时处于“1”状态，它就会执行“加1”这个命令，处于“0”状态，不执行这个命令。计算机运行一串复杂的指令，其步骤就是按顺序运行一个个“1”和“0”的小命令。每一串指令的运行步骤都是明确且固定的，计算机一次也只能运行一串指令。

量子计算机的特殊之处在于，它不是由二极管或者是三极管组成，而是由具有处于量子态的粒子（如光子、电子或者原子）组成。命令是否执行的方式也不再是电路导通和不导通，而是选取了粒子的某个两态体系——例如光子的两个正交的偏振方向、磁场中电子的上下自旋方向、核自旋的两个方向、原子中量子处在的两个不同的能级等，规定当粒子处于其中一个状态时，命令执行，这个状态也就是“1”。而当粒子处于另一个状态时，命令不执行，这个状态也就是“0”。量子计算机神奇之处就在于此，电路导通和不导通是确定的，然而粒子的量子态却不是确定的！

态叠加原理

根据量子力学的不确定原理，它有一个叠加态。叠加态的意思是各个态的叠加状态，这意味着在任意时刻粒子的状态都是不确定的，每种状态的存在都有一定的概率。拿电子自旋方向举例，假设电子自旋向上的概率为70%，自旋向下的概率为30%，那么某一时刻电子自旋的状态为向上状态和向下状态以7:3的比例叠加的状态。

因为粒子的量子态是瞬间变化的，所以量子计算机的指令也是瞬间变化的。例如“10”这个指令，在传统计算机中，它仅仅为指令“10”。但是在量子计算机中，由于这2个量子比特的状态都是可以变的，你只能说在这个瞬间指令处于“10”状态。但几乎在同一瞬间，这个指令已经分别变成了“11”“01”“00”——我们甚至可以认为“10”“11”“01”“00”这四个指令是等效的，也就是说指令“10”和其他三个指令都代表了以上四种状态。

所以，在传统计算机里，一个n位比特的指令就仅仅为一个指令，但如果量子计算机里，由于每一位量子比特都在2种状态中来回切换，所以一个n位量子比特的指令一共包含 2^n 个指令。一个就能代表 2^n 个，可想而知，量子计算机需要存储的指令远小于传统计算机。这可比孙悟空要厉害多了！

更可怕的是，这 2^n 个指令是可以同时执行的。从这一点上来说，传统计算机的落后就远不是内存的问

题了。你想一下，两个“武林中人”打架，一个使用“传统”武术，另一个使用“量子”武术。他们两个人同时冲拳，使用“传统”武术的人一次只能打出一种拳，但是使用“量子”武术的人打出的拳瞬间化为成千上万种拳法打向了对手。可想而知，“传统”武师必然败于“量子”武师。

如何测量叠加的量子态？

想象一下你刚入住新房，从传统的角度，你会获得一串房间里各个锁的钥匙，而从量子力学的角度，你会获得一把包含所有开锁功能的“万能钥匙”。当有一天你忘记哪一把钥匙是大门的锁的钥匙了，你不用一把一把的试钥匙，你只需要将这“万能钥匙”插进去，“万能钥匙”瞬间同时进行成千上万种尝试，大门的锁立刻就能被打开。

量子比特是一种叠加态，它既可以是“1”也可以是“0”。还没有测量时，我们是不知道它是什么状态的。但我们要想利用它，就必须能够在任意瞬间知道它是“1”还是“0”。所以，测量量子比特的状态，变成了量子计算需要解决的第一个问题。就像上文的例子，你虽然打开锁了，但是你不知道这把钥匙是用哪一种方式把锁打开的。

然而，量子态是“有脾气”的。就像一个川剧变脸的表演者，当他在快速变脸时，你无法看清楚某一时刻到底是哪一张脸。但是当你叫停，准备观察其中某一张脸时，他可能就会生气不再表演了，因为你破坏了他表演的“兴致”。同样的，量子态也有这样的脾气，一旦外界对粒子进行干扰，粒子很可能就永远的固定为一个状态，不再改变。这就是说，一旦你对粒子进行测量，粒子的量子体系就可能会被破坏，粒子就永远固定为一个状态。

有人常问：为什么宏观世界看不到量子现象，其实就是外界的干扰太大了！在量子世界，我们可不想出现这种情况，所以如何进行测量得到所需要的信息的同时，需要避免测量的干扰使得这把“万能钥匙”变成特定的“普通钥匙”。

量子计算的难点

量子力学诞生后的很长一段时间内，制造并测量一个处于量子态的粒子是一个难以解决的问题。这需要科学家们将一个粒子孤立出来，避免其受到外界环境的干扰。同时还得对其进行测量，证明其是否处于量子态。孤立粒子已经是一件困难的工作，而测量更是难上加难，因为测量不当就意味着科学家将会破坏自己制造的量子态。

幸运的是，有两位天才的实验物理学家各自独立地做到了这一点，而这两位科学家

也因此获得了物理学领域的最高殊荣——2012年的诺贝尔物理学奖。这两位科学家就是法国物理学家塞尔日·阿罗什和美国物理学家大卫·维因兰德，他们分别在实验室中制造单个光子和单个离子，并测量了它们的量子态。阿罗什和维因兰德的工作都是至关重要的，他们为量子计算打下了奠基性的技术基础。

然而，量子计算机可不会只拥有一个量子比特。目前最先进的谷歌的54位量子比特芯片Sycamore已经能够操控53个处于量子态的粒子（54位量子比特理应对应54个粒子，但Sycamore的一个粒子失效了）。而在此之后，量子计算机的比特数将会增大到几百甚至上千个，避免某些粒子失效的难度会加大。

同时需要提到的一点是，量子计算机的粒子可不是简单的叠加，相反，它们之间的状态会形成某种联系，我们称之为“量子纠缠”。量子计算机之所以能运行得如此之快，除了“态叠加原理”使得单个粒子的状态在不断改变，使得众多指令达到“同时运行”的效果外，“量子纠缠”是另一个重要因素。“量子纠缠”通俗地讲就是粒子之间发生了相互作用，它们的状态会相互影响，并且同时改变。一旦各个粒子之间实现“量子纠缠”，量子体系便会实现“牵一发而动全身”的效果——一个粒子状态改变，其他粒子的状态也瞬间跟着改变。这使得量子体系的反应时间大大缩短。然而，量子纠缠的实现也是一件相当困难的事情。

中美之间你追我赶

2009年，美国耶鲁大学罗伯特·斯科尔科夫教授领导的团队开发出了人类第一款固态量子处理器，这款处理器的量子比特的位数少的可怜，只有2位。但这款处理器的研发是极其不容易的，因为进行量子计算需要时间，这要求粒子的量子态必须能存活得足够久。在此之前，科学家甚至无法使粒子量子态的存活时间超过十亿分之一秒，而耶鲁大学的团队将这个时间延长到了百万分之一秒，这足够耶鲁大学的团队做一些计算。这款量子处理器帮助人类实现了重大突破——人类首次使用2量子芯片进行了简单的数学运算，并进行了第一次成功的量子信息处理演示。这标志着人类向建立第一台量子计算机的方向迈进了关键性一步。

很长的一段时间内，IBM公司在量子计算领域的技术领先全球，并一直在奋力追求“量子霸权”。2015年4月IBM完成了4个量子比特芯片的构造，2016年5月IBM宣布成功制造5量子比特的量子处理器，并“大方地”将这款量子处理器提供给公众试用。但凭借着庞大的财力支撑，互联网巨头谷歌对于量子计算的研发迅速赶超IBM。就在IBM公开其5量子比特的处理器后不久，谷歌宣布一款拥有9量子比特的处理器诞生。谷歌的9量子处理器一跃成为全球最先进的量子计算机处理器。2017年5月1号，谷歌雄心勃勃地宣布最快在2017年底推出50个量子比特的处理器。

令人惊喜的是，我国也没有在量子计算领域落后太多，甚至还曾一度达到领先水平

！2017年5月3日，中国科学技术大学潘建伟的团队在上海宣布，全球首个10量子比特处理器在中国诞生，其运算速度比最优秀的同类量子计算机快24000倍！不过这第一把交椅我国没坐多久就被IBM夺走了——IBM很快推出了16和17位量子比特的量子处理器，同时也表示IBM研发团队正在向50位量子比特处理器进发！这个目标也很快就实现了。

IBM于2017年11月宣布成功制备50位量子比特的量子处理器，谷歌更是于2018年3月宣布成功制备72位量子比特的量子处理器Bristlecone。50位和72位已经超过了理论上的可以达到“量子霸权”的49位，但当时IBM和谷歌并没有宣布实现量子霸权。两家公司甚至没有公布相关的测试数据，这极有可能是因为技术不可靠导致处理器不稳定或者难以使用。目前，经过严格的同行评议并正式在国际学术期刊公开发表的最可靠的量子处理器是谷歌的9量子位超导芯片和我国的10量子位超导芯片。

更多的量子计算开发者

谷歌进行了另一种尝试，摒弃了Bristlecone的制作方法，采用了一种全新的架构，制作出了可靠稳定的54位量子比特处理器Sycamore，并宣布实现“量子霸权”。目前Sycamore正在被同行审阅当中。

面对谷歌的开拓尝试，我国的科学家团队也不甘人后，以中国科学技术大学、浙江大学和中国科学院物理所等为代表的单位先后创造了12个和18个量子比特纠缠的新纪录，在国际上已经跻身一流的研究团队。2019年8月9日，由浙江大学、中科院物理研究所、中科院自动化研究所、北京计算科学研究中心等国内单位组成的团队通力合作开发出的具有20个超导量子比特的量子芯片被正式公布。量子计算专家朱晓波说，我们正在攻克实现50位量子比特处理器的技术。

谷歌、IBM和中国的中科大等研究所是量子处理器研发的佼佼者，研发量子计算的硬件需要十分先进的技术，但如今量子计算研究领域已经全面开花，各个商业巨头和政府都在投入巨额资金进行关于量子计算硬件和软件的研究。2015年年底，欧洲空中客车集团于年底在英国威尔士纽波特建立了一个团队，空中客车集团表示不会开发自己的硬件，只是希望使用现有的量子计算设备解决航空航天工业中需要处理和存储大量数据的问题。2015年7月，阿里巴巴的阿里云云计算部门和中国科学院在上海建立了一个名为阿里巴巴量子计算实验室的研究机构，在2018年2月，阿里巴巴推出了具有11个量子比特的云量子计算服务。诸如此类，商业巨头参与量子计算领域研发的例子数不胜数。

目前中美之间的量子计算的技术差距，美国领先中国一个身位，还未形成代差。如果经过合理发展，中国极有可能在未来几年内赶上世界先进水平。