

# 纠错,让量子计算“又快又准”

□ 袁岚峰

## 走近量子计算②

近期,中美两国取得的两大量子计算研究成果——超导量子计算机“祖冲之三号”与 Willow 站在了全球量子计算领域的最前沿。从公众到传媒,人们关注的焦点大都聚集在 Willow 宣称的5分钟可完成超算 $10^{25}$ 年的运算速度上。但实际上,这只是量子计算领域一个不错的量变,远非质变。因为算力之外,量子纠错能力才是更需要关注的技术突破点。

### 什么是量子优越性

说起量子计算,一个重要的里程碑是量子优越性(也称量子霸权)。

量子优越性,是指量子计算机在特定任务上远超经典计算机的性能优势。2019年,谷歌的超导量子计算机“悬铃木”对“随机线路取样”这个数学问题,率先实现了量子优越性。2020年,中国科学技术大学的光量子计算机“九章”对“高斯玻色子”取样,也实现了量子优越性。2021年,中国科学技术大学的超导量子计算机“祖冲之二号”也在超导体系和随机线路取样上实现了量子优越性。

虽然这些成果都具有1分钟抵得上超级计算机多年的计算优势,但实际上至今还没有实用价值。这是因为它们只能处理“随机线路取样”和“高斯玻色子取样”这两个数学问题,而这两个数学问题目前还没有找到实用价值。

量子计算机的基本状况,就是它目



图为中国科学技术大学构建76个光子的量子计算原型机“九章”。新华社发

前还没有实用价值。它或许是对某些问题算得快,但这些问题本身尚无用处;它或许是能处理一些有用的问题,但经典计算机对这些问题算得更快。Willow 的 5 分钟超强计算能力,也是“随机线路取样”,因此并没有改变这个基本状况。

### 量子纠错如何实现

在量子优越性之后,下一个重要的里程碑是量子纠错。

其实,经典计算机也需要纠错,因为经典的比特有时也会出错。但量子比特更容易受到环境的扰动,因此量子纠错的重要性更高。在某种意义上,现在的量子计算机没有实用价值,正是因为没有纠错。如果纠错达到很高的水平,就可以执行一些真正有实用价值的任务,比如因数分解,它可以用来看破密码。

量子纠错和经典纠错的基本思想很类似,都是用多个物理比特来“保”一个逻辑比特。比如,把1个比特复制成3个一组,正常情况下它们应该是000或者111,假设我们有一天突然看到001,这说明什么?有两种可能性得到001:一种是一个0出错,变成1;另一种是两个1出错,变成0。显然第二种可能性远低于第一种,于是我们少数服从多数,把那个1变成0,这就实现了纠错。

需要注意的是,纠错生效的前提,是纠错前的错误率低于某个阈值。如果无纠错时错误率就很高,那么不是“三个臭皮匠,顶个诸葛亮”,而是“跟臭棋篓子下棋,越下越臭”。实际上,以前的量子计算机纠错实验都是“越纠越错”。

### 迈出量子计算坚实一步

Willow 真正的重大进步在于,首次

实现了“越纠越对”。它用了一种表面码的纠错方法,即用 $n \times n$ 的二维量子比特阵列,来实现一个逻辑量子比特。最小的 $1 \times 1$ ,就是没有纠错。 $3 \times 3$ 就是用9个物理量子比特,实现一个逻辑量子比特。 $5 \times 5$ 就是用25个物理量子比特,实现一个逻辑量子比特。以此类推。这里的 $n$ ,称为码距。

Willow 的实验结果是,码距为3的优于码距为1的,即无纠错;码距为5的优于码距为3的;码距为7的优于码距为5的。每次基本上错误率下降一半。目前的实验做到码距为7。

相比之下,中国在纠错方面的成果是,两年前率先演示了码距为3的纠错实验,现在正在做码距为7的实验,预计数月内完成实验。

量子优越性跟量子纠错间的关系,可以说是前者是后者的基础。如果能实现纠错,那肯定就能实现量子优越性,因为纠错意味着对量子比特的操控已经达到了一个很高的水平。

谷歌在报道中列出了一个六步走的量子计算路线图:第一步是量子优越性,第二步是量子纠错,第三步是长寿命的逻辑量子比特,第四步是逻辑门,第五步是工程扩展,最后一步是实现大规模的、有纠错的量子计算机。2019年的“悬铃木”是实现了第一步,现在的 Willow 是实现了第二步。

Willow 和“祖冲之三号”的成果表明,量子计算的发展虽然是路漫漫其修远兮,但又迈出了坚实的一步。

(作者系中国科学技术大学科技传播系副主任)

# 由一项“复古”新成果说开去

□ 尹传红



科学随想

古时仰望星空,辨方向;如今卫星导航,指路径。

进入无人机时代,新问题也冒了出来:假如全球定位系统(GPS)“断供”了,或者有 GPS 信号干扰器横插一脚,如何是好?

最近,南澳大利亚大学的遥感工程师回到人类古老的导航方法——利用星星来导航,开发了一种新的低成本原型系统。该系统将天体三角测量与基于视觉算法的计算结合,专为夜间飞行的无人机设计。它能够捕获夜间看到的恒星视觉数据,并将其与数据库进行比较,借由摄像头面对的方向和拍摄图像的时间点,就可推断飞机的位置。

与传统 GPS 不同,这种新系统不会发射任何信号,因此不会受到干扰。据称,除了作战环境和长期监视任务,这种廉价的、以恒星为基础的无人驾驶飞行器附加设备,也能在飞越海洋或监测远程环境条件时提供帮助。

这正是人类久违了的天体导航!虽然,该工具目前不像现代 GPS 那样精确,

但专家们预计,它可能很快就将在发生干扰或故障时提供强大的备份。

闻悉此项“复古”新成果,我不禁产生了一些联想。

2021年国外曾报道:一个新的预测模型显示,本世纪内,毁灭性的日冕物质抛射直接袭击地球的概率为50%。如果此事成真,各种用于导航、通信的卫星系统和电子设备等,都将处于其所产生的电磁风暴冲击的危险之中。地球上的大部分地区可能会持续断电数月或数年,随后还会引发更多更大的灾难。

显而易见,过于依靠先进的、相互关联的复杂技术,使我们已然适应了的“文明生活”,很容易受到对前人来说无关紧要的自然和人为事件的影响。确实,整个工业化的世界依赖于越来越先进的科技不断注入,造就我们当下生活方式的各种系统业已彼此“纠缠”在一起。而且,不断升级的需求驱使我们去设计更为复杂的系统,并产生了越来越强的依赖。

另一方面,复杂系统越来越倾向于出错,对误操作也变得越来越敏感。国外的一些案例研究已经说明,依赖复杂系统的风险是不可预测的。系统的复杂程度越来越高,会导致该系统越来越脆弱,更容易受到突发事件的影响,因此很容易完全失控。

身处移动互联网带来剧变的时代,日

本学者藤原智美在讨论互联网社会问题以“迷失”表达了某种担忧:网络的发达将导致人类理解语言信息并去记忆的能力萎缩。如果我们只依靠随手可得的电子化信息,我们可能最终会失去对语言和智慧事物的谦虚。

美国作家乔·马钱特2020年推出的《人类仰望星空时》一书,探讨了繁星、宇宙与人类文明的进程。她在书中记述:对太阳、月亮和群星的观察,促使人类发展出许多实用的技能,比如导航、计时,最终形成了我们今天所有先进技术的根基——科学方法。可是,科学技术的快速发展在给我们带来许多好处的同时,也让我们同宇宙的物理循环和大自然隔绝开来。我们忽略了月亮和行星留给我们的线索,完全依赖时钟和卫星导航系统为我们指示时间和地点。

我们甚至早已心安理得了:卫星周转的信息定期发送到我们的汽车和手机上,我们想知道自己在哪儿,不必看窗外,更不必仰望星空了。然而,有得必有失。心理学家和神经科学家警告说,如果我们总是依赖技术完成导航之类的任务,如果我们沉浸在一个抽象的、计算机化的世界里,我们对物理环境的感知能力将会衰退……

这种“隔绝”自然对我们无益。那我们还能做些什么呢?

## 先睹为快



### 人靠衣装: 从树叶兽皮到锦衣华服

古人是从什么时候开始学会穿衣服的?最早的衣服是什么样的?当生产力发展,人们开始追求更舒适、更美丽的衣服时,衣服又发生了哪些变化?古人的襦(rú)、裙、裳、褙(bèi)子等都是什么样式?在“汉服热”兴起的当下,有多少人穿错了汉服?现在的高科技服装又有哪些神奇的作用呢……让我们带着这些问题,跟着2024年第12期《学与玩》杂志一起,来看看关于服装的那些故事吧。