

颠覆式创新：可逆计算

计算机的发展几十年来可谓神奇,但现在碰到的最大瓶颈是能量消耗,它所依靠的半导体产业的摩尔定律要失灵了。那么,怎样突破这个瓶颈呢?现在,尤其是在中国,人们对研究人工智能、大数据等表现出极大兴趣,大都是在计算机的功能上着手,软件上加点东西,在这上面创新。从能量消耗的角度讲,它的思路是:一个逻辑电路,运行一次,接着运行下一次的时候,前一次运行所消耗的能量就浪费了,所以超级计算机的能耗才那么高。可逆计算与此不同,它是一个颠覆性的创新。设想一下,如果电路里只有电感、电容,没有电阻,就不会有能量消耗。它的运行是可逆的——电感可以激励,也可以释放;电容可以充电,也可以放电。

早在2003年,Michael P. Frank在美国旧金山举行的纳米技术会议暨贸易展览会(2003 Nanotechnology Conference & Trade Show)的报告中列出了可逆计算的成本效率(图1)。

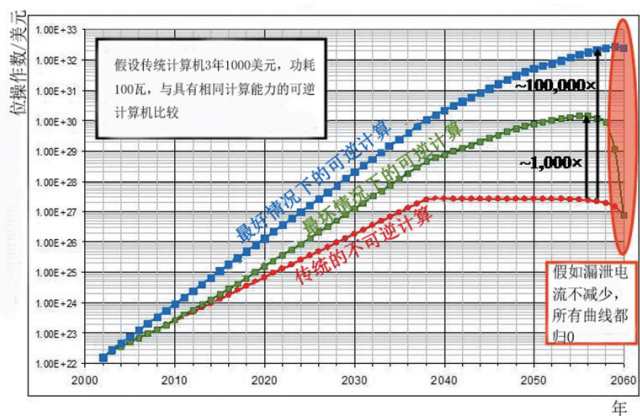


图1 可逆计算的成本效率

图1说明,传统的不可逆计算在2038年以后将达到一个热力学墙,每1美元能够进行的位运算次数无法再提高了,而对于可逆计算仍可提高1000至十万倍,那大概是2050年的事了。这里考虑了由于可逆在算法、运算速度上需要付出的代价。可逆计算的基础是可逆逻辑门的设计和生,这就牵涉到量子计算了,必须做到量子级,电路才能可逆。但是,不要空谈量子计算,可逆计算要从逻辑门做起。

可逆计算的想法与人们改进半导体设计与生产、改进算法、跟踪产业界流行的想法非常不同,但这个想法并不新。1961年国际商业机器公司(IBM)的物理学家Rolf Landauer发表《Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process》一文,认为不可逆计算是一种热力学行为,物理现象的可逆性对量子物理也成立。从量子物理的观点看,信息是不可能被毁灭的。计算机在每一拍把前一拍的信息擦去了,实际上前一拍的

信息变成了热量损失了。Landauer的结论是在室温下,擦去1位就驱散至少0.017 eV的能量。对今天的互补金属氧化物半导体(CMOS),情况更严重。美国斯坦福大学的研究表明,每擦去1位至少损失500 eV的能量。解决此问题的办法是可逆化,即每一个初始状态产生唯一的后续状态,带有信息导向的任何能量不会转为热量,而可以为后续操作所用。可惜此后沉静了许多年,因为工程实现实在太难。直到20世纪80年代,美国麻省理工大学(MIT)的研究者们重新重视这个问题,他们设计了可逆的逻辑门。此后,美国许多大学、公司以及日本、俄罗斯、法国等国家都开始研究各种实际途径实现可逆计算。在美国斯坦福大学附近的帕洛阿尔托(Palo Alto)的分子制造学院的Ralph Merkle设计可逆纳米分子机器,理论上说只要用今天计算技术千亿分之一的能量,计算速度仍可达到纳秒级。他们设计的一种所谓的“连接逻辑”如图2所示。

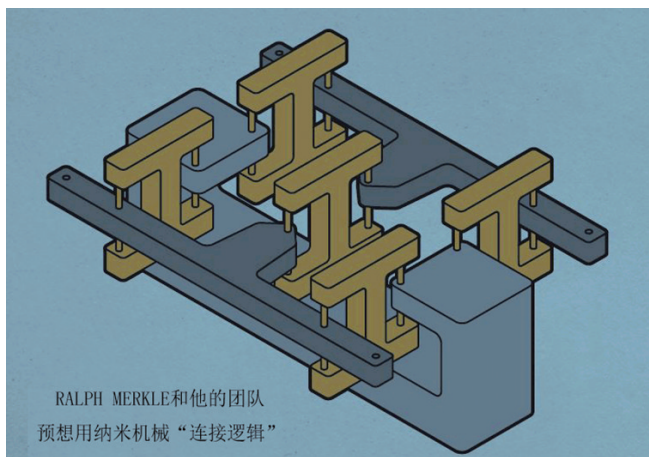


图2 连接逻辑

图2中两个深灰色可动条可以检测到几百个原子通过,其控制点是无摩擦的。它就像今天的晶体管一样,但是可逆。不过,这种原子级精确装置的制造技术还需要研究。

现在,计算技术已经到了一个关键的历史性时刻,模拟或基于毛刺的神经计算如果不可逆,也将最后达到极限,即使是量子计算的突破也只能对特定计算提速,而不是通用计算。所以,可逆计算应该是解决当前计算危机的道路之一。人们应该重视颠覆性的创新,而不是紧跟大公司的脚步做研究。

文/闵应骅

作者简介:中国科学院计算技术研究所研究员,IEEE终身Fellow。

(责任编辑 王丽娜)