

# 值得期待的量子 CPU

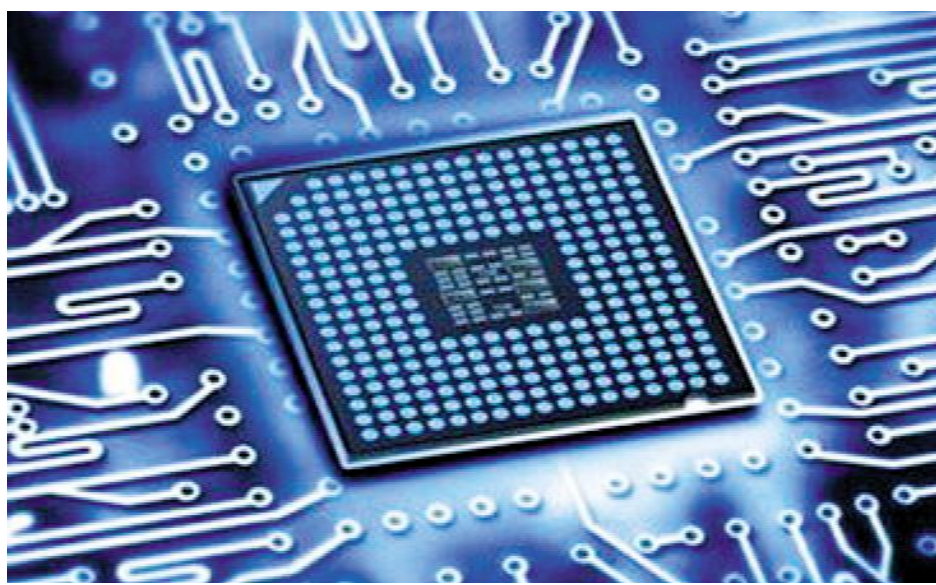
■李海欧 曹刚 肖明 郭光灿 郭国平

计算机已经成为我们日常生活中的必备工具,如果问一句“你的计算机 CPU 用的是什么芯片?是 Intel,还是 AMD 呢?”其实无论是 Intel 还是 AMD,它们在本质上一样,都属于半导体芯片,基本单元都是半导体晶体管。未来,电脑芯片或许要多一个选择了:量子芯片。

半导体芯片是在半导体材料上进行蚀刻、布线,制成的能实现某种功能的半导体器件,主要包括砷化镓、硅和硅锗等半导体材料。随着人们对更小电子产品尺寸要求的提出,晶体管集成度越来越高,单个晶体管的尺寸也越来越小。据科学家推算,大约到 2020 年,每个晶体管将小到只有一个电子,即单电子晶体管。然而,一旦晶体管体积在不断变小的进程中出现“量子隧穿效应”,电子就可以直接从晶体管中“穿”过去,经典逻辑运算将不复存在。

据了解,目前世界上主要的计算机芯片生产企业仍在想办法避免量子隧穿效应。从长远来看,与其避免不如加以利用,发展使用“量子运算”的半导体量子芯片。

“现在或许还无法准确预测“量子计算时代”何时到来,但在科学家看来,已经没有什么原理性的困难可以阻挡这种革命性产品的诞生了。”



## 半导体量子芯片的实现

量子比特的编码有很多种,基于全电控半导体量子点体系和超导体系的固态量子比特,与现代半导体集成电路工艺兼容且可扩展和拥有较好的可集成性,是最有力的候选者。

半导体量子芯片的制备工艺如下:首先,通过分子束外延生长含有二维电子的基片材料;然后,通过高分辨电子束刻蚀、光学刻蚀等制备量子点结构的图形;最后,通过电子束蒸发金属镀膜,再利用金属剥离技术,获得半导体量子点芯片器件。

半导体量子芯片具有易于全电操控、可集成化、兼容传统半导体工艺技术等重要优点,是进一步研制实用化半导体量子计算机的坚实基础。另一方面,更快的量子逻辑门操作是实用化量子芯片多量子比特集成和

运算的首要条件,只有更快才有可能将量子计算从小规模的实验室演示推向真正的实用化。

目前,中国科学技术大学半导体量子芯片研究团队,利用标准半导体集成电路的纳米加工工艺,制备出一种“半导体双量子点芯片”,通过单个电子在左右量子点中的位置决定量子比特的“1”和“0”,形成单电荷量子比特,利用超快电脉冲操控技术,在“一个电子”上实现了 10 皮秒量级(皮秒为时间单位,即 10 的负 12 次方秒)尺度的表达信息元素“0”和“1”的量子逻辑门运算,将原世界纪录提高近百倍,实现了世界上最快速的单电子电荷量子比特逻辑门。

多量子比特制备和操控是实现普适量子逻辑门的基础,按照双量子点中的电子在左

右量子点的位置编码一个电荷量子比特的方式,两电荷量子比特可以由两个双量子点构成。研究团队在单量子比特的基础上,设计制备了多种强相互作用的半导体四量子点芯片,形成两个电荷量子比特,使两量子比特间的相互作用强度超过 100 微电子伏特(能量大小,表示相互作用的大小)。利用皮秒量级的脉冲序列精确控制技术,成功实现两个电荷量子比特的控制非门逻辑操控(一个量子比特的状态可以控制另外一个量子比特处于初始态,或者发生翻转,从而形成一个受控非门),其操控最短在 200 皮秒内完成。相对于目前国际上电子自旋两量子比特的最高水平,两电荷量子比特的操控速度提高了数百倍,实现了世界上最快速的两电荷量子比特受控非门。

## 最值得期待的“革命者”

原则上讲,“单量子比特逻辑单元”和“两量子比特控制非逻辑单元”的各种组合,可以实现任意的普适量子逻辑门,电荷编码单量子比特和两量子比特的量子逻辑门的完成,标志着基于半导体量子芯片的基本量子逻辑单元已经成功实现。作为实现大规模量子计算的基础,“多量子比特扩展与操控”是研究中的重要课题之一。

研究团队自主研发了新型超导微波谐振腔,实现了超导谐振腔与半导体量子比特的

复合量子芯片制备,完成了石墨烯量子比特中的电子与超导谐振腔中光子的强相互作用,首次在国际上实现了相距 60 微米(量子比特自身大小的 200 倍)的两个石墨烯量子比特之间的长程相互作用。

然而,虽然目前研究团队已经实现了单量子逻辑比特、两量子逻辑比特及多量子比特的长程相互作用等量子处理器研制的关键原理性技术突破,但是要真正实现半导体量子计算机依然“任重道远”,正

如其他体系一样,基于半导体的量子计算面临着量子比特相干时间、操控保真度、容错能力等问题。按照目前对于经典计算机的预测,摩尔定律在 10 年后就要失效,要进一步提高计算能力,我们需要利用多核进行运算。随着近年来国际、国内量子计算研究水平的突飞猛进,量子计算机将是值得期待“革命者”。

(作者单位为 中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室)

## 量子计算机将兴起

近年来,科学家利用量子效应在单电子晶体管上开展量子计算与量子信息技术研究,期待能够研制出实用化的量子计算机。量子计算机是一类遵循量子力学规律进行高速数学和逻辑运算、存储及处理量子信息的物理装置。当某个装置处理和计算的是量子信息、运行的是量子算法时,它就是量子计算机。

现在或许还无法准确预测“量子计算时代”何时到来,但在科学家看来,已经没有什么原理性的困难可以阻挡这种革命性产品的诞生。科学家所研究的半导体量子芯片,就是能够进行逻辑运算和处理量子信息过程的量子处理器,是研制量子计算机的核心器件,类似于经典计算机全电控的半导体中央处理器(CPU)。

对于现代计算机而言,通过控制晶体管电压的高低电平,从而决定一个数据到底是“1”还是“0”,采用“1”或“0”的二进制数据模式,俗称经典比特。而量子计算机采用的是量子比特,它的每个数据位用微观的量子态表示。根据量子力学原理,量子比特可以同时处于“1”和“0”两种状态的叠加态,量子计算的输入和输出都是概率性的,这是量子力学的奇特性质之一。正是由于这种叠加态的存在,量子计算机就可以同时进行很多条路径的计算,经过多次运算就可以获得精确的结果。

这一特性让量子计算机拥有超强的计算能力。采用量子计算机进行一些复杂的计算任务,如密码破译、气候模拟和生物医学模拟等,量子计算机的运算速度可比传统计算机快数万倍。

# 厄尔尼诺来袭的警报怎么拉响

■本报记者 赵广立



印度尼西亚从林燃起创纪录的林火、印度雨季降水的明显减少、埃塞俄比亚和索马里所在的非洲之角地区的洪涝……17 年来最强的一次厄尔尼诺现象真的来了。据联合国机构世界气象组织 11 月 16 日播报,今年以来,热带地区和亚热带地区正在经历的严重干旱和毁灭性洪灾已经佐证了这次厄尔尼诺现象的暴发。并且,这次暴发最近正变得“成熟和强壮”,预计今年年底将更强大。

厄尔尼诺事件来势汹汹,然而人们对它的造访仅限于从历史记录中总结的“规律”:约每 2~7 年发生一次。这显然太过粗略。因此,如何准确地对厄尔尼诺现象进行预报,成为摆在地球物理学家面前的当务之急。

《中国科学报》记者就此采访了中国科学院大气物理研究所副研究员郑飞,他的研究工作之一就是厄尔尼诺事件的模式预测,他近年发展的一个“大样本的 ENSO (厄尔尼诺-南方涛动)集合预报系统”目前就在最新落成的“地球系统模拟装置”原型系统(以下简称地球系统模拟器)上进行仿真演算。

## 厄尔尼诺预报存挑战

事实上,早在去年 5 月份,世界范围内多个

气象预报部门均对 2014~2015 年的厄尔尼诺事件有了警觉和预测,只是,那时大家对于这次厄尔尼诺事件的强度各执一词。

“对厄尔尼诺的预测,特别是对它的强度预测仍存在需要解决的问题。”郑飞告诉记者,国际上超过 20 家专业机构今年 6 月份对厄尔尼诺关键区的海温变化进行预测,其中不乏利用超级计算机计算得出的结果,但其差异都比较大,其中几家专业机构的预测结果甚至是达到或超过 1997 年、1998 年厄尔尼诺的强度。

“这源于不同模型之间的差异,这种预报的差异也受模型的初值和使用数据的影响。”郑飞举例说,按照他们的模式 10 月份得出的最新结果,这次厄尔尼诺事件的峰值强度接近 2.5℃左右(赤道中太平洋平均海温高出历史平均海温 0.5℃并持续 6 个月以上即被视为发生一次厄尔尼诺事件),而欧洲中期天气预报中心得出的结果最高超过 3℃。

郑飞介绍说,不同预报模式之间,不仅系统算法不同,各自所需的数据资料也有差别。预报厄尔尼诺关心的海表温度、次表层海温、海表高度以及大气风场等数据,在不同模式中的作用和使用情况各异。

显然,算法和数据越复杂,对处理和计算它们的计算机要求就越高。目前,郑飞等人的预报模式正是最新引入了大气风场等数据作为预报初始条件,得出的预报结果水平较高。

不过,郑飞指出,由于人们对影响厄尔尼诺事件的物理机制的认知程度有限,对初始误差和随机过程如何影响厄尔尼诺预报不甚明了,造成目前大部分模式只能提前 6 个月给出较为可信的预报。同时对极端事件的强度预报偏

弱,导致了目前的厄尔尼诺预报水平并不能满足防灾减灾的需求。

“比如对于我国夏季气候趋势预测而言,就需要提前 9~12 个月左右提供可信的厄尔尼诺预报结果。因此,如何进一步提高厄尔尼诺预报准确率,并延长厄尔尼诺预报时效,是国际上的研究热点和极具挑战性的问题。”郑飞提出,这要求高性能计算机和预测模型的发展同步。

## 高性能计算机来配合

谈及刚刚把预报模型“搬家”到新的高性能计算环境,郑飞颇有感触:比起之前所使用的旧机器,在“地球数值模拟装置”原型系统上“跑”一遍模型,原来需要一个多小时的运算,现在只需要 20 分钟左右就完成了。

“计算效率没得说,这台设备针对地球系统模式进行过优化设计,在计算效率和能耗方面有很大改观。”郑飞告诉记者,为能更准确地提供未来海温的演变趋势和发展强度,他们利用地球系统模拟器至少每月进行一次滚动预报,以及实时更新预报结果。计算效率的提升,为他们省出来大把的工作时间。

“地球系统数值模拟装置”原型系统是中科院大气物理研究所曙光公司、中科院计算所、网络中心专门针对地球系统模式设计、制造的一台高性能计算机系统。郑飞研究团队所做的厄尔尼诺模型预报是其承担的其中一项任务,它更重要的任务是运转“地球系统模式”,大气、海洋、陆地、植被、生态等的地球过程参数包括在内,空间尺度覆盖全球,是迄今为止最复杂的超级计算项目之一。

“在地球系统模拟器这片海里,我们就是一条小鱼,游起来当然自由自在。”郑飞调侃道。不过,他告诉记者,有了地球系统模式的仿真模拟,地球系统的演变过程就可以更接近真实,这也就给预测厄尔尼诺现象带来的影响提供了契机。

“厄尔尼诺的预报一方面,我们更关注的是厄尔尼诺究竟会带来什么影响。对我国来说,我们认为厄尔尼诺的影响一般会造成本国一些极端气候事件的发生,但究竟对冬天气候的影响如何,夏季的旱涝分布随厄尔尼诺事件发生的阶段如何变化,强度到什么程度,甚至是否还涉及其他的影响,这些都是我们希望借助地球系统模式做出来的。”郑飞说,有了相匹配的高性能计算机的配合,上述问题都有希望得到解决。

## 军事空间

# 攻防兼备的 M1A1“艾布拉姆斯”主战坦克

有媒体报道,埃及坦克生产厂和美国通用动力地面系统公司已正式签订合作协议,两国将重启 M1A1“艾布拉姆斯”主战坦克、武器系统和配件的共同生产项目。生产完成后,埃及将装备 1130 辆 M1A1 坦克。

早在 2011 年,埃及订购了 125 辆 M1A1“艾布拉姆斯”主战坦克,但由于 2013 年埃及军事政变,美国政府中断了此订单的交付,同时停止对埃及提供军事援助。2015 年 3 月,美国恢复了军事援助。

M1A1“艾布拉姆斯”坦克是第二次世界大战以来,美国陆军装备发展的侧重点。因为它既是保护士兵免受敌人猛烈火力打击的重型装甲战车,也能变身为快速进出战斗区并使被命中概率降至最低程度的轻型车辆。

M1A1“艾布拉姆斯”坦克属于“艾布拉姆斯”坦克家族,自 1980 年问世以来,20 年间先后经历了 M1、M1A1、M1A2 和 M1A2SEP 等发展阶段。M1A1“艾布拉姆斯”坦克是 M1 系列坦克的第二种改进型,其前身是 M1 和 IPM1 坦克,属于战后的第三代主战坦克,1985 年开始在美军服役,现已成为美国陆军主力坦克。

这个排行老二的坦克重 57 吨,有 4 名乘员。最大速度 66.8 千米/小时,如果准备充足,最深可涉水 1.98 米。

坦克的主要武器是一门 120 毫米滑膛炮,发射尾翼稳定脱壳穿甲弹和多用途破甲弹,弹药基数 40 发。辅助武器是一挺 11.7 毫米高射机枪和两挺 7.62 毫米机枪。其中,120 毫米坦克炮在 2000~3600 米距离内可首发命中目标,行进间可命中 3000 米距离内的静止目标,直射距离 1800 米,可在 2800 米距离上击穿三层北约重型靶板。在攻击时间上,M1A1“艾布拉姆斯”坦克反应时间为 6.2 秒,其夜视设备性能优异,无论

何种气象条件,有效观察距离都可在 1000 米以上,最大夜视距离为 2000 米,在与伊军坦克的交战中,能使坦克炮准确命中目视无法发现的 T-72 坦克。

除了强大的杀伤力,M1A1“艾布拉姆斯”坦克还拥有强大的防护能力。它的车体和炮塔采用了复合装甲,提高了对动能弹和化学能破甲弹的防护能力。在同等级装甲重量下,复合装甲防破甲弹能力是均质钢装甲的 3~5 倍。车内乘员室、弹药室、燃油室之间用隔板防护,防止弹药或燃油爆燃时危及乘员。位于炮塔尾部的弹药室上方装有防爆排放板,一旦该部分弹药中弹后爆炸,排放板首先被打开,使爆炸能量向外释放,保护车内乘员与设备安全。

此外,M1A1“艾布拉姆斯”坦克内还装有自动灭火抑爆装置,可在 3 毫秒内检测,并在 200 毫秒内扑灭火源。集体三防装置在车内,产生高于外界大气压的超压,防止核、生、化有害物质进入车内,炮塔上还装有烟雾榴弹发射器,必要时施放伪装烟雾。(原鸣整理)



本版图片来源:百度图片

## 数码时代

根据美国科技媒体网站 The Verge 消息,FAA (美国航空局)和海岸警卫队已经使用 Jetpack Aviation 的最新 Jetpack 产品——JB-9,绕着自由女神像转了一圈。

其实 Jetpack (飞行包)已经不是什么最新的“黑科技”,Martin Jetpack 之前已经发布。

新发布的 JB-9 相较于之前的 Martin Jetpack 要轻便很多,可以很容易地折叠并放到车里,采用涡轮式喷气来做动力。作为对比,大部分同类产品采用火箭和水蒸气喷射来提供动力,而没有使用喷气式涡轮。

机身缩小与之而来的“折扣”是在动力方面,相比 Martin Jetpack 半小时的飞行时间,JB-9 的飞行时长只有 10 分钟。由此可见 Jetpack Aviation 公司的重要理念——便携很重要,在公司网站上作了这样的说明:“我们认为 Jetpack 应该做到这一点:利用喷气式涡轮实现垂直起降,有着小而轻的设计,飞行员能轻松携带。这款设备应当提供足够的动力,将飞行员升至数千英尺的高空,同时也可以放在汽车车厢里。”

在飞行操作方面,JB-9 有点玩电动游戏的感觉,左右手分别提供两个操作杆。左手的操作杆是用来调整方向,右手的操作杆则像汽车的油门,用户通过控制动力大小来调整升降。

据介绍,JB-9 产品飞行时速达到 100 英里(约合 161 公里),而飞行高度可以超过 1 万英尺(约合 3048 米),飞行时间则达到 10 分钟。创始人透露,产品暂时只面向警务人员,现在已经开始用于营救、搜索、救灾等方面了。Jetpack Aviation 表示,该公司开发这类产品已有 40 年时间。

竞争对手 Martin Aircraft 公司的开发时间据说也是 35 年,不过 Martin Jetpack 的零售版在 2016 年即将与大众见面。2015 年 6 月,Martin Jetpack 正式宣布旗下的 Jetpack 飞行器将会在 2016 年第二季度正式开售,正式版的 Jetpack 飞行器售价为 15 万美元(约合人民币 93.1 万元)。该零售版飞行器改用了 V12 引擎,最大载重量提升到 120 公斤,最长飞行时间达到 30 分钟。(北峰整理)



随时随地 想飞就飞