核心技术需要在试错中发展

胡伟武^{1,2}

1. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190

2. 龙芯中科技术有限公司, 北京 100095

E-mail: hww@loongson.cn

收稿日期: 2018-05-02; 接受日期: 2018-05-11; 网络出版日期: 2018-05-23

摘要 包括发动机、CPU 等在内的核心技术产品都是复杂系统, 需要在不断试错中发展, 不可能一蹴而就. 发展核心技术产业就像上楼, 只能一步一步从楼梯爬上去, 一步台阶就是一次在应用中试错. 试错需要时间和耐心. 我国的自主 CPU 经过多轮试错从不成熟到成熟, 自主 CPU 产业链从组合发散到组合收敛, 基于自主 CPU 的应用系统从基本可用, 到可用, 到好用. 在发展核心技术产业过程中, 要发扬实事求是的作风和愚公移山的精神, 不仅要撸起袖子加油干, 还要耐着性子坚持干; 要保持战略定力, 不能对发达国家抱有不切实际的幻想; 要提防国外垄断集团在我们不掌握技术时就封锁技术, 在我们掌握技术后就通过技术合作阻止自主技术发展.

关键词 核心技术, CPU, 试错

1 “中兴事件”的启示

最近美国制裁中兴公司事件 (简称“中兴事件”) 将作为中国现代化建设的重要事件写在中华民族伟大复兴的历史上. 它引起全民族对发展核心技术产业的深入思考, 并积极采取行动.

改革开放 40 年来, 为了实现高速发展, 在前进的道路上我们绕过了一些比较难攻的“山头”, 包括作为工业“心脏”的发动机、作为信息产业“心脏”的中央处理器 (central processing unit, 简称 CPU)、高端工控系统和高端仪器等. 现在这些未攻下的“山头”在后方作乱, 成为巨大隐患. 这些“山头”有一个共同的特点, 就是攻下它需要很长时间, 因为它们都是复杂系统. 影响复杂系统品质的因素很多, 需要在不断试错中发展, 不可能一蹴而就. 就像上楼, 只能一步一步从楼梯爬上去, 一步台阶就是一次在应用中试错. 国外产品是在几十年应用中经历了多轮试错发展起来的, 是沿着楼梯一步一步上的楼. 改革开放以来, 我国为了快速发展, 每次产业升级都找容易取得效果的产品做, 只能用国外的部件“攒”系统, 计算机、汽车、飞机莫不如此. 对于自主研发的产品, “在相同条件下优先使用”相当于永远不用, 因此阻断了自主研发产品在中试错, 在试错中发展的螺旋上升的过程.

核心技术产品的难点不在科学原理, 而在于工程细节的完善. 以汽车发动机为例, 发动机的科学原理教科书都写得很清楚了, 关键是造出来后如何在应用中试错, 在试错中提高. 造几辆基于自主发

引用格式: 胡伟武. 核心技术需要在试错中发展. 中国科学: 信息科学, 2018, 48: 1097–1101, doi: 10.1360/N112018-00111

Hu W W. Key technologies should be developed through trial-and-error procedures (in Chinese). Sci Sin Inform, 2018, 48: 1097–1101, doi: 10.1360/N112018-00111

动机的汽车在实验室以及野外完成各种实验并不难, 难的是一定批量的长期的应用验证. 有的开到空气稀薄的青藏高原, 有的在冬天开到低温的漠河, 有的在夏天开到高温高湿的海南岛, 而且都要保证一定的批量和周期. 一辆车不出问题不意味着批量生产不出问题, 一年不出问题不意味着十年不出问题. 要在应用中发现问题, 并根据发现的问题进行持续改进. 有时候需要多轮改进才能见效, 因为复杂系统的细节太多, 即使是发动机中控制喷油嘴的电路板和芯片也不简单. 就像木桶有一百块短板, 每次改掉二十块也需要改 5 轮, 木桶的水才能增加, 产品的品质才能明显提高.

试错需要时间和耐心, 时间是核心技术产品最有效的门槛. 以抗辐照 CPU 为例. 掌握抗辐照技术并研制出抗辐照 CPU 后, 首先要在地面做多轮的辐照实验, 包括总剂量实验、单粒子实验、抗门锁实验, 做这些实验需要通过粒子加速器加速包括电子、质子及重离子在内的各种粒子打在芯片上来评估 CPU 的抗辐照能力. 做完地面实验后第一次上天只能搭载而不是真正应用. 搭载实验通过后可以用在备份系统中上天. 备份系统使用没问题后才能作为主份上天. 上述每一步实验的时间都需要以年为单位. 龙芯从 2006 年开始研制抗辐照 CPU, 第一次上天是 2015 年, 2017 年才开始上小批量, 前后共耗费十多年时间. 有哪个社会资本愿意支持创业团队坚持十几年不盈利呢? 但一旦跨入抗辐照芯片应用的门槛, 别人再想进入这个领域也需要很多年. 因此, 时间是核心技术产品最重要的门槛. 任何一、两年或两、三年就能做出来的东西门槛都不高, 门槛不高的产品利润都不高.

有没有办法避免上述耗时的多轮试错, 不用爬楼梯, 一步就上楼呢? 改革开放以来, 我们进行了各种尝试. 第 1 阶段是造不如买、买不如租; 第 2 阶段是“市场换技术”, 希望通过成立合资企业来掌握核心技术; 第 3 阶段是直接收购国外高科技企业. 事实证明, 这些都不是根本的解决办法. 2011 年我国信息产业 100 强企业的利润总和是美国苹果公司的 40%^[1]. 2012 年苹果公司和三星公司占了全球手机利润的 97%, 2016 年苹果公司和三星公司占了全球手机利润的 94%^[2]. 背后的逻辑很简单, 那就是发达国家是不会真心帮助我们发展的. 反之, 他们会设置各种门槛阻止我们进入他们的“领地”, 包括这次美国制裁中兴公司并挥舞起制裁华为公司的“大棒”. 在应用中试错是核心技术产业的发展固有的规律, 我们可以通过加大投入和改进体制机制加速试错过程, 但不能取代试错过程. 只有坚持自力更生, 长期坚持, 我国核心技术产业才能“上楼”, 才能不受制于人.

2 自主 CPU 在试错中发展过程

十八大以来, 以龙芯 CPU 为代表的自主 CPU^[3] 研发和应用取得很大进展. 一是 CPU 性能不断提高, 超过国际主流 CPU 的低端产品, 正在向中高端逼近, 预计 2020 年前后逼近国际主流 CPU 的性能“天花板”. 二是基于自主 CPU 形成了包括近千家企业的产业链, 自主可控的信息产业体系正在形成. 三是在武器装备、党政办公、能源、交通等领域得到了大量应用, 在涉及国家安全和国民经济安全的领域使用自主 CPU 已经成为共识. 自主 CPU 能取得上述进展, 主要是得到了应用和试错的机会, 在试错中上了几级“台阶”.

龙芯上第 1 级“台阶”是在“十二五”期间, 主要面向基于嵌入式操作系统的单一应用及基于 Linux 通用操作系统的简单应用. 自主 CPU 开始和操作系统结合, 在结合过程中解决了成百上千的技术问题, 包括 CPU 成熟度不够, 嵌入式操作系统 VxWorks 的各类板级支持包 (board support package, 简称 BSP) 和图形包缺乏, 在 Linux 上没有可用的 Java 虚拟机、浏览器、办公软件和数据库等. 通过建立质量体系和服务体系, 并取得产业链合作伙伴的支持, 初步解决了上述问题, 自主基础软硬件达到“基本可用”. 2015 年龙芯产业化主体龙芯中科公司通过市场销售达到盈亏平衡, 并在此基础上实现利润的快速增长. 这个阶段主要应用都是一个个“小烟囱”, 每个应用的软硬件都不一样, 需要专门技术

服务,而且批量都不大.这类应用就像盐碱地,认真种可以不饿肚子,在IT产业被国外垄断集团深度垄断的情况下,龙芯只能种好“盐碱地”作为进一步发展的根据地.在第1轮试错中也发现了CPU性能不足(只有市场主流产品的十分之一)、部分软件功能(如在线Flash视频播放)缺乏、输入/输出设备适配不够等问题.总体上看,第1级“台阶”主要的瓶颈在于CPU、操作系统及其结合部.

龙芯上第2级“台阶”是“十三五”头两年,主要面向包括党政办公和行业业务系统在内的复杂固定应用,每个应用场景有上千台计算机,涉及操作系统、数据库、中间件、浏览器、办公软件、Flash视频、地理信息系统等.虽然复杂,但有边界.在这个过程中,CPU升级到第2代^[4],性能大幅提高到第1代产品的4~5倍;操作系统升级到64位,稳定性大幅提高;Java虚拟机、浏览器性能均提高到第1代产品的2~3倍;解决了制约桌面应用的网上Flash视频播放等相关问题.大量自主输入/输出设备如高拍仪、扫描仪、打印机、身份证读卡器等企业主动加入自主产业链,输入/输出设备越来越丰富.CPU、操作系统、数据库、整机、系统集成等厂商紧密配合,协同解决用户试点过程中发现的问题,形成了“应用试点、发现问题、解决问题并完善平台、在试点中检验”的良性循环.应用方面达到了“可用”的水平,使用者对自主基础软硬件的抵触情绪逐步消失.新发现的问题包括:对复杂的外网应用,缺少像微信和QQ这样的即时通信软件;对大型应用,扩展性不好的数据库成为性能瓶颈;云计算等新兴IT架构的解决方案还需要加强研发等.总体来看,爬上第2级“台阶”大幅缓解了基础软硬件的瓶颈,主要矛盾开始从CPU和操作系统的结合部转向操作系统与应用的结合部.

龙芯爬上第3级“台阶”将在“十三五”后半期.面向的应用具有全业务、全地域的特点.自主基础软硬件将在第3轮试错后走向成熟,具备全面推广的条件.龙芯在爬第3级“台阶”过程中还将从3个方面完善基础软硬件.一是CPU通用处理性能再提高1~2倍,逼近国际主流CPU的“天花板”.通过优化处理器微结构提高流水线效率,并通过物理设计提高频率,预计2020年龙芯CPU的性能可以逼近当时市场主流CPU的水平.二是完善自主基础软硬件规范,实现系统架构稳定和技术平台收敛.在过去应用中,操作系统需要针对不同的主板和升级后的CPU进行磨合适配,而在Wintel(Intel公司的X86处理器和微软公司的Windows操作系统)体系中可以实现不同主板及CPU的操作系统二进制兼容.其背后是Wintel体系统一的系统架构,包括指令系统、地址空间布局、中断系统、多核互联架构、IO接口规范等,需要CPU、BIOS、桥片、操作系统配合完成.龙芯正完善基于龙芯CPU和桥片的统一系统架构,大幅度降低软硬件适配工作量,并最终实现操作系统在不同主板和CPU的二进制兼容.三是以用户体验为中心,对自主基础软硬件展开系统梳理和优化,打造集约型的系统,使用户体验有实质性的提高,达到“好用”水平.在此之后,自主基础软硬件的主要瓶颈将由CPU和操作系统的结合部转移到操作系统和应用的结合部.

经过上述3轮试错,以CPU和操作系统为代表的自主基础软硬件从不成熟到成熟,自主基础软硬件产业链从组合发散到组合收敛,基于自主基础软硬件的应用系统从基本可用,到可用,到好用,为构建独立于Wintel体系和ARM+Android体系外的自主技术体系打下坚实的基础.

3 发展核心技术产业要坚持自力更生

在核心技术产业“爬楼梯”过程中,要发扬实事求是的作风和愚公移山的精神,不仅要撸起袖子加油干,而且要耐着性子坚持干.复杂系统的发展和完善往往需要30年时间.我国的“运十”飞机在1986年拆解,C919在2017年首飞,其中好多模块还是别人的.前苏联解体后,1992年将在建的“乌里扬诺夫斯克”航母拆解,俄罗斯新建的航母计划2030年服役.时间已经成为制约我国核心技术产业发展的最重要因素,因为在不断试错中改进是复杂系统创新的必要过程,好的体制机制以及更多的经

费可以加速试错迭代,但不能取代试错迭代过程。在核心技术的能力积累方面,只有一步一个脚印地追赶,不要幻想“弯道超车”。弯道超不了车,弯道超车是要翻车的。浮躁会让我们的产业发展走入误区,反而发展更慢。产业发展有它的规律,如果不按规律办,投入再多的钱,也会受到规律的惩罚。使用自主研发的产品,刚开始可能不尽如人意,而且会有一个越用问题越多的阶段。但只要坚持用,有2~3轮持续改进,就能进入越用问题越少的阶段,走向成熟,甚至超过国外系统。

在核心技术产业“爬楼梯”过程中,要保持战略定力,不能对发达国家抱有不切实际的幻想。在中国的近代史上,我们有3次向外国老师学习的经验,每次都是受老师欺负吃了亏后走上自力更生的道路。第1次是洋务运动,晚清时期中国海关关长都是英国人担任的,是中国历史上最开放的时期,却被西方列强欺负得水深火热,中国人民经过艰苦卓绝的斗争,终于实现了民族独立。第2次是建国后向苏联学,一边倒,结果苏联在中国的土地上又想建联合舰队,又想建长波电台,毛主席拒绝后苏联又撤专家又逼债,毛主席还是领导中国人民自主研发“两弹一星”,建立了自主可控的工业体系。第3次是改革开放,我们学习西方的管理理念和市场经济,刚开始觉得挺好的,现在老师又开始欺负学生了,我们唯一的办法还是自力更生。

要提防在我们核心技术产业“爬楼梯”过程中国外垄断集团的“糖衣炮弹”。在我们不掌握技术时就封锁技术,在我们掌握技术后就通过技术合作阻止自主技术发展是国外垄断集团的惯用伎俩。千万不能再犯国外封锁技术时就自主研发,一旦国外开放技术后就停止自主研发的历史错误。曾经有专家戏称,如果美国对我国禁运五年,放开五年,则我们什么也发展不起来。近期,随着我国自主CPU的研发和应用推广取得持续发展,一些我们想通过自主研发摆脱依赖的CPU和操作系统,纷纷通过技术合作或企业合资的方式让我们对其建立新的依赖。这次中兴事件应当让我们彻底抛弃幻想,坚持自主研发。

中兴事件虽然短期来看对我国电子信息产业压力很大,长期来看利大于弊。中兴事件再次印证了习近平总书记“在引进高新技术上不能抱任何幻想”的论断,将让我们彻底抛弃幻想,立足于自主研发。我们自主研发北斗卫星是因为西方国家拒绝中国参加欧洲伽利略定位系统。我们发展“天宫”系列空间站也是因为美国主导的国际空间站拒绝中国参与。西方国家对我国长期实行军用元器件禁运,我国军用元器件就能自主研发,不少装备的电子系统的元器件实现了100%自主化。对“中国制造2025”来说,早制裁比晚制裁好。现在制裁,我们可以及时调整技术路线,使用自主研发的元器件,给以CPU为代表的自主元器件在应用中试错的机会。如果到了2025年我们工业控制系统全面实现自动化和智能化了再制裁,反而不利。因此,现在制裁,对“中国制造2025”是有利的。

4 结语

核心技术是国之重器。发展核心技术产业是国家的需要、时代的需要,而且我们已经初步具备了条件,再没有理由怀疑我们能做这件事情。只要我们克服急躁情绪,发扬实事求是的作风和愚公移山的精神,既在成绩面前保持清醒的头脑,又在困难面前坚定必胜的信心,脚踏实地、积极进取,我们不屈不挠地努力,必将稳步达到我们自己的目的。

参考文献

- 1 我国电子信息百强利润总额 884 亿元不抵苹果一半. OFweek 电子工程网, 2018.8.9. <http://ee.ofweek.com/2012-08/ART-8100-2800-28631174.html>

- 2 苹果 2016 年营业利润占全球市场份额近八成. 证券时报, 2017.3.9. <http://kuaixun.stcn.com/2017/0309/13099890.shtml>
- 3 Hu W W, Zhang Y F, Fu J. An introduction to CPU and DSP design in China. *Sci China Inf Sci*, 2016, 59: 012101
- 4 Wu R Y, Wang W Y, Wang H D, et al. Design of Loongson GS464E processor architecture. *Sci Sin Inform*, 2015, 45: 480–500 [吴瑞阳, 汪文祥, 王焕东, 等. 龙芯 GS464E 处理器核架构设计. 中国科学: 信息科学, 2015, 45: 480–500]

Key technologies should be developed through trial-and-error procedures

Weiwu HU^{1,2}

1. *Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

2. *Loongson Technology Corporation Limited, Beijing 100095, China*

E-mail: hww@loongson.cn

Abstract Key technology products, such as a CPU and an engine, are complex systems. The development of such products typically undergoes multiple trial-and-error procedures that are similar to moving upstairs, with each stair representing one trial-and-error procedure in need of long time and patience. During the past years, Chinese researchers have made significant progress in the design of CPUs. They will continuously endeavor to accelerate independent innovations and propel trial-and-error procedures to a higher level.

Keywords key technology, CPU, trial-and-error

Weiwu HU received his bachelor's degree in 1991 from the University of Science and Technology of China, and his Ph.D. degree in 1996 from the Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, both in computer architecture. He is now a professor at the Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences. His research interests include computer architecture and CPU design.