

自主可控关键软硬件在我国宇航领域的应用与发展建议

倪光南¹, 朱新忠²

(1. 中国科学院 计算技术研究所, 北京 100190; 2. 上海航天电子技术研究所, 上海 201109)

摘要: 针对复杂国际形势与国内薄弱的工业基础,“十一五”以来我国通过“核高基”等国家科技重大专项持续投入,已在核心电子器件、基础软件产品、配套成套工艺等方面取得了重大突破。上海航天技术研究院作为航天装备主要研制单位,积极参与国家科技重大专项的实施,主动推动国产核心器件与操作系统软件的应用验证与型号应用,为国产关键软硬件研制平台能力提升作出了积极贡献。为适应新时代装备自主、安全的发展需求,本文从支持元器件正向研制、提升“研用”转换能力和推动国产操作系统应用 3 个方面提出重点发展建议。

关键词: 宇航领域; 自主可控; 关键软硬件

中图分类号: V 11 **文献标志码:** A

DOI: 10.19328/j.cnki.2096-8655.2021.03.004

Application and Development Proposal of Autonomous and Controllable Key Electronic Components and Basic Software in Aerospace Field of China

NI Guangnan¹, ZHU Xinzhong²

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

2. Shanghai Aerospace Electronic Technology Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: In view of complex international situation and weak domestic industrial basis, China has continuously invested and improved significantly in the field of key electronic components, basic software, and manufacturing process through major scientific and technological projects. As one of the main development organizations in the aerospace field of China, Shanghai Academy of Spaceflight Technology has actively participated in the major projects, and actively promoted the verification and application of China key electronic components and operating system software in spacecraft, contributing to the capacity promotion of China key software and hardware. In order to adapt to the development requirements of the equipment self-control and safety in the new era, government policy and developing direction suggestions were given in terms of supporting forward design, improving “design to application” transition capacity, and promoting the application of China operating system.

Key words: aerospace field; autonomous and controllable; key electronic components and basic software

0 引言

随着基础工业能力的发展,我国信息技术和电子信息产业的整体水平已有较大提高,但在关键软硬件的设计与工艺等方面与世界先进水平仍有较大差距^[1]。推进关键软硬件自主可控,构建自主创新体系,已成为推动我国电子信息产业由大到强的战略

选择。关键软硬件的自主可控,核心在于电子元器件的自主研制与基础软件的内核全面自主可控。

2006 年《国家中长期科学和技术发展规划纲要》确定,通过核高基科技重大专项的实施,弥补我国电子信息产业基础能力薄弱等问题,目标在高端通用芯片、基础软件和核心电子器件领域基本形成具有

收稿日期:2021-04-02; 修回日期:2021-04-16

作者简介:倪光南(1939—),男,博士,中国工程院院士,主要研究方向为自主可控计算机与信息技术。

通信作者:朱新忠(1975—),男,研究员,主要研究方向为航天计算机与高速数据处理。

国际竞争力的高新技术研发与创新体系^[2-3]。随着国家的相关持续投入,我国关键软硬件产品谱系已得到较大完善,核心技术自主可控能力大幅提升^[4]。

随着国际局势演变与中美贸易摩擦升级,中兴、华为等多家中国高科技企业被美国列入实体禁运清单,核心技术受制于人已成为制约我国电子信息产业进一步发展的瓶颈,自主可控道路已成为我国关键软硬件发展的核心共识^[4]。基于前期在关键软硬件自主可控能力建设的持续投入与显著效果,我国应在核心电子元器件、操作系统软件等核心技术的自主可控能力上继续投入,提升我国电子信息产业的核心竞争力。

1 电子信息产业形势现状

2018年以来,随着中美摩擦升级与国际形势恶化,美国对华策略逐渐从贸易战升级至科技战,美国相继将中兴、华为、海康等高科技企业列入实体清单,制裁其使用进口核心元器件、电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)工具等,我国信息领域相关产业受到严重影响。为遏制我国电子信息产业向高端、核心领域发展,以美国为首的西方国家已对中国开展全面制裁^[5]。

在此背景之下,中国海关总署于2019年1月提供的数据显示,中国集成电路进口额首破2万亿元人民币,连续数年位居国家进口种类首位。而国内

电子产业的关键软硬件产品,大部分仍依靠国外进口,距离实现全面自主可控仍有较大差距^[6]。同时,由于国家间利益冲突,进口元器件可能会在设计、制造、封装、测试等环节被人为植入后门,因而会被窃取重要商业数据,甚至摧毁关键设备。

民用领域尚且如此,军用领域更无须多言。军事设备的自主可控直接关系到国防军事安全,若不能实现关键软硬件自主可控,会始终处于受制于人、被动挨打的局面。我国正在加快构建军用核心电子元器件、基础软件的自主创新机制,在军事装备发展新时期,各方通力合作促进产业链协同攻关,构建信息安全和军用装备自主可控的战略新生态。

在国产军用核心元器件方面,我国已在中央处理器(Central Processing Unit, CPU)、现场可编程逻辑阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、存储器等核心电子器件领域逐步形成自主可控能力^[7-8],见表1。CPU方面,龙芯、航天772所研制的国产CPU已大量应用于关键基础设施以及军事装备系统^[9-10]。在FPGA产品领域,国内复旦微电子、紫光同创、成都华微等公司已完成国产7系列FPGA研制,稳步追赶国际先进水平^[11-13]。在存储器领域,长江存储等公司已成功研制NOR FLASH、NAND FLASH等国产存储器,后续逐步在存储容量、读写速率等方面取得突破。

表1 国产核心电子器件研制进展

Tab.1 Research of key electronic components in China

器件类型	研制厂家	规格/系列	器件状态
CPU	龙芯中科	1E300等	已大量应用于关键基础设施
	航天772所	BM3803、BM3823	抗辐CPU,在宇航型号中已在轨应用
FPGA	复旦微电子、紫光同创、成都华微	V4、V5、K7、V7等系列	已实现千万门级、亿门级FPGA自主可控能力
DSP	国防科大	FT-M6672/FT-M6678	国产异构多核DSP处理器
存储器	长江存储	NAND FLASH	已实现128层三维堆叠闪存

在国产基础软件方面,EDA设计工具、嵌入式操作系统也在逐步推动自主可控进程。在EDA工具方面,北京华大九天软件有限公司已能提供1/3产业所需EDA解决方案,实现28 nm及以上制程工艺全覆盖,基本满足目前军用元器件的设计需求^[14]。在嵌入式操作系统方面,我国翼辉等全自主嵌入式操作系统已在各领域型号产品中逐步开展应用^[15]。

虽然我国在芯片设计的自主可控方面已取得重大突破,但在芯片基础制造能力方面仍与国际领

先水平有差距较大。相较于台积电、Intel已成熟的7 nm制程工艺,我国中芯国际等公司仅实现28 nm工艺代工,在制造工艺与制造装备的自主研制均处于起步阶段。光刻机、刻蚀机、清洗机、切割机等工序设备,以及光刻胶、高纯度水等基础材料均严重依赖进口^[4]。

2 上海航天技术研究院自主可控总体思路

随着我国航天事业快速发展,嫦娥五号、天问

一号等重大型号任务相继取得成功,我国正在由“航天大国”向“航天强国”稳步迈进,宇航装备不断向高集成度、多功能、低功耗方向发展,迫切需要高性能、小型化、低功耗、高可靠的电子元器件。宇航元器件是支撑装备发展和国家安全的重要战略资源,西方各国对华实施严厉的技术封锁和产品禁运,导致当前航天重大工程和武器装备使用的高性能宇航元器件严重依赖进口,受制于人。

上海航天技术研究院作为我国涵盖领域最全的航天总体研究院,覆盖导弹系统、运载火箭、卫星、飞船和探测器 5 大领域,应用核心元器件与基础软件的种类也最为广泛。长期以来,上海航天技术研究院以型号实际需求牵引关键软硬件的自主可控工作,推动国产电子元器件、基础软件在型号的实际应用。

在元器件自主可控方面,上海航天技术研究院基于国内厂家研制能力的提升,采取从易到难的分步实施策略,从分立器件到接口电路,最终实现 CPU、DSP、FPGA 等核心器件的自主可控。1) 基于型号选用进口元器件的实际情况,牵引国内厂家对标进口器件功能、性能开展研制,在保障型号任务的同时,提升各厂家器件研制能力,坚定其为航天型号配套的信心;2) 根据型号任务的发展,主动提出器件研制需求,积极策划、立项,推动厂家正向研制产品;3) 面向新技术发展趋势,上海航天技术研究院主动梳理微系统产品需求,根据实际应用特点开展微系统架构设计,推动单机功能的芯片化集成。

在基础软件方面,以往型号软件的底层开发模式随着装备复杂化、智能化要求已不再适用,上海航天技术研究院已逐步走向基于嵌入式操作系统的星上应用软件开发模式。由于国产宇航领域操作系统仍不成熟,对星载操作系统的应用也面临道路抉择。1) 基于已有进口或开源操作系统内核开展国产操作系统研制,通过引进、消化、吸收的模式推进自主可控;2) 开展全自主内核国产操作系统研制,并基于领域特点开展宇航应用开发与可靠性加固,满足宇航应用要求。

3 上海航天技术研究院自主可控取得成就

“十一五”以来,我国相继启动“核高基”等重大科技专项工作,支持国内各厂家开展宇航用关键软硬件的自主研制。经过 20 多年的持续投入与自主

奋斗,已在核心硬件自主研制、基础软件支撑配套和工艺平台能力建设等方面取得重要突破。我国宇航领域长期坚持自主可控原则,在型号研制过程中均要求优先选用国产元器件,已形成国产器件验证与应用的平台能力^[16]。

作为宇航领域关键软硬件的最重要用户,上海航天技术研究院大力推动国产核心元器件与操作系统软件的应用验证与型号装备工作,积极策划新品立项与型谱研制,在解决型号自主可控的同时,支撑我国核心元器件研制能力的提升。

上海航天技术研究院作为宇航装备自主可控的责任主体,一直致力于型号自主可控、元器件应用验证等方面工作,率先开展了 X 波段空间行波管放大器、国产抗辐照 SM1750 处理器和国产抗辐照 SM28F256 PROM 存储器等多款器件应用验证与首次在轨应用。在型号研制之余,上海航天技术研究院承担百余项各级应用验证项目,从器件应用验证原理中,科学设计验证试验,从验证试验中提炼验证方法,突破了器件级、板级、系统级应用验证技术,形成应用验证指南 500 余项、通用验证装置 200 余套;建立了应用验证平台,有效提升了国产元器件的质量和可靠性;指导设计师根据元器件特性使用国产元器件,扭转设计师对国产元器件“进口元器件插拔替换”的想法;加速元器件从新品研制到工程成熟应用的过程,促进国产元器件在宇航型号上的推广应用和自主保障能力的提高^[17]。

作为核高基、型谱、新品项目最具影响力的用户单位,上海航天技术研究院参与国产元器件研制的全过程,主动开展新研元器件的应用验证,支撑国家项目考核与验收^[9]。在国产元器件型号应用方面积极探索新模式、新思路。2015 年 9 月,基于自主研发的浦江一号,积极开展了 26 项国产器件的在轨集成示范应用,地面与在轨同步考核,为国产 SM28F256 型 PROM、三维封装存储器等核心关键元器件积累了丰富的在轨数据,成功推动在气象、对地观测、空间科学等卫星型号的全面应用^[10]。2019 年,以 S 频段天地一体化应答机、星敏感器为试点,基于国产元器件开展 100% 国产化单机的研制工作,并通过鉴定,已为各型号实现配套。

在国产操作系统方面,考虑内核安全性与后续可扩展性,上海航天技术研究院为响应国家全面自主可控的要求,选择了直接研制内核全自主国产操

作系统的“一步到位”道路。上海航天技术研究院成功研制风云翼辉(AIC-OS)嵌入式操作系统,并于2020年2月在新技术试验卫星C星、D星成功首飞,目前已在轨正常工作16个月。同时,风云翼辉于2020年5月通过专家组现场审查,成为进入装发软硬件名录的唯一大型实时、自主可控嵌入式操作系统。风云翼辉嵌入式操作系统的成功研制与应用,支撑了星上嵌入式软件高效、高可靠的根本要求,弥补了我国航天领域操作系统空白。同时,上海航天技术研究院正在逐步推动风云翼辉嵌入式操作系统在船舶、导弹等领域的应用,推进我国基础软件建设事业。

4 重点发展建议

多年来我国宇航领域切实推动自主可控工作,在一定时期内发挥较大作用,适应装备自主、安全发展要求。然而,面对新时代自主可控要求与宇航型号发展需求,目前自主可控思路、现状仍不能满足要求,本文从以下3个方面提出重点发展建议。

4.1 支持核心器件正向研制

目前,我国宇航领域核心元器件的自主可控缺乏自顶向下的系统设计和持续路线,未形成真正意义上的产品体系^[18]。更重要的是,我国宇航元器件标准长期借鉴国外成熟标准,与国内基础与实现条件结合不够紧密,发挥作用较为有限。并且我国宇航元器件的研制,主要对标进口器件的功能性能指标,以跟仿研制与反向设计的模式为主,往往出现仿制成功即落后于人的被动局面。

我国尚未实现核心电子元器件的弯道超车。因此,要立足国内设计、工艺、生产水平,结合宇航型号实际需求开展核心元器件的功能定义与正向设计,形成自主产品体系。根据型号需求开展航天微系统架构设计,通过国产芯粒、自主IP核等构建国产微系统产品,实现长期困扰宇航装备信息安全的核心信息元器件国产化和自主保障问题。推动新型自主架构核心产品的研制与应用,在类脑芯片、人工智能加速芯片和存算一体芯片等领域实现突破,支撑型号产品跨越式发展。

4.2 提升“研用”转化能力

“十一五”以来,随着我国基础工业水平与微电

子科学技术的发展,宇航领域部分元器件已实现自主研制并形成产品谱系,然而部分器件在应用环节仍然出现问题,设计师对国产元器件的可靠性、适应性仍存有担心,导致大部分航天装备上典型关键单机的核心元器件仍然是进口产品,国产元器件缺乏应用机会,研制水平、生产规模和应用能力发展缓慢^[19-21]。

航天科技集团率先提出应用验证是元器件研用转化的关键所在。为避免国产元器件研而不用、应用水平低下导致上机率较低的问题,通过航天领域电子元器件、基础软件等产品的应用验证工作,实现研用结合,从元器件、单机、系统各层面,全方位、多角度评价考核国产基础软硬件的可靠性,找到薄弱环节和缺陷,协助产品研究单位改进提升,提高设计师应用水平,促进我国高端微电子产业和航天产业发展。

同时,通过“十二五”“十三五”期间国家的大力支持,已在应用验证的标准规范、通用流程等方面形成完善的制度。为了进一步提升“研用转换”能力,后续应推动应用验证向设计前端控制转变,在充分了解器件应用需求的前提下,在器件设计、研制过程中,对关键参数加严控制,实现国产器件研制完成后的型号直接应用,缩减从研制到应用的传统流程。

4.3 推动国产操作系统应用

随着宇航型号任务愈发繁重,尤其是互联网卫星等巨型星座的启动实施,研制周期已成为制约型号研制的重要瓶颈。基于传统星上嵌入式软件的开发流程需耗费大量人力资源与开发周期的现状,嵌入式操作系统的应用已成为航天型号的重要发展方向。

然而,目前国家对于国产操作系统应用的支持力度不足,对选用装发名录内软件的刚性不够,部分型号仍在选用进口操作系统开展软件研制。推动内核全自主嵌入式操作系统的应用,通过系统提供的应用库函数、航天标准服务组件以及标准驱动接口,可支撑星上嵌入式软件的快速、高效开发。同时,保证航天装备安全性、可靠性、可维护性与可扩展性,是推动我国宇航事业发展与自主可控进程的重要途径。

5 结束语

关键软硬件的自主可控是国家政治、军事、经济实力和科学技术水平的重要体现,也是我国由“航天大国”迈向“航天强国”的必经之路。自主可控工作是一项艰巨的系统工程,亟需在观念上、机制上、管理上实现突破,在基础软硬件研制、应用验证能力建设、国产操作系统应用等方面取得进一步成果。

参考文献

- [1] 查贵勇.我国集成电路产业国际竞争力现状及提升策略[J].产业创新研究,2019(4):3-7.
- [2] 中华人民共和国国务院.国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)[EB/OL].(2006-02-09)[2021-04-01]. http://www.gov.cn/jrzq/2006-02/09/content_183787.htm.
- [3] 科技部.国家“十二五”科学和技术发展规划[EB/OL].(2011-07-14)[2021-04-01]. http://www.most.gov.cn/kjbgz/201107/t20110714_88254.htm.
- [4] 闵钢.中国集成电路设计业的状况分析[J].集成电路应用,2019,36(2):8-14.
- [5] 赵爱玲.中美经贸“压舱石”经历严峻考验[J].中国对外贸易,2018(4):8-9.
- [6] SCOTTSDALE A. China IC markets vs China IC production trends [R]. IC Insights, Inc., 2019.
- [7] 王龙兴.全球集成电路设计和制造业的发展状况[J].集成电路应用,2019,36(3):21-26,34.
- [8] 胡伟武.自主CPU发展道路及在航天领域应用[J].上

海航天,2019,36(1):1-9.

- [9] 曾宪荣.中国国产化处理器进展综述[J].集成电路应用,2018,35(1):13-18.
- [10] 马威,姚静波,常永胜,等.国产CPU发展的现状与展望[J].集成电路应用,2019,36(4):5-8.
- [11] 冯园园,张倩.嵌入式FPGA技术发展现状及启示[J].集成电路应用,2018,35(8):1-4.
- [12] 唐杉.可编程门阵列FPGA在智慧云中的应用案例分析[J].集成电路应用,2018,35(1):80-83.
- [13] 杨海钢,孙嘉斌,王慰.FPGA器件设计技术发展综述[J].电子与信息学报,2010,32(3):714-727.
- [14] 丛秋波.中国需要拥有自主知识产权的EDA工具[J].电子设计技术,2010,17(2):57.
- [15] 韩鑫.操作系统加速实现自主可控[EB/OL].(2020-09-11)[2021-04-01]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1677487920459077420&wfr=spider&for=pc>.
- [16] 朱旭斌,张伟,张皓东.航天关键元器件自主可控需求工作思考[J].航天标准化,2013(3):26-28.
- [17] 肖凤娟,赵艳涛.航天型号元器件自主可控工作的实践与思考[J].航天工业管理,2013(4):23-26.
- [18] 夏泓,李京苑,李应选,等.航天元器件自主与可控概念及量化研究[J].电子元件与材料,2013(7):50-53.
- [19] 王敬贤,江理东,张伟.航天关键元器件国产化分析及工程实施[J].航天标准化,2012(4):6-9.
- [20] 朱旭斌,付婉月,靖连天,等.航天元器件自主可控工程风险管控技术研究[J].质量与可靠性,2015(6):39-43.
- [21] 朱佳曦.基于自主可控目标的宇航元器件管理体系研究[D].武汉:武汉工程大学,2015.

作者简介:

倪光南,中国工程院院士,著名计算机专家,中国自主可控软硬件推动者和倡导者。

研究领域:联想式汉字系统,操作系统,汉字信息处理与印刷革命,汉字信息处理。

曾获得中国计算机学会终身成就奖、中国中文信息学会终身成就奖、河北省院士特殊贡献奖、国家科学技术进步奖一等奖和中国科学院刘永龄奖。

1984年初研发出汉字处理产品“LX-80联想式汉字图形微机系统”;11月应邀出任“中国科学院计算技术研究所新技术发展公司”总工程师;1989年11月14日计算所公司改名为联想集团公司,倪光南担任公司董事兼总工,主持开发了联想系列微机;1994年被遴选为中国工程院首批院士;2002年至2011年担任第五、六届中国中文信息学会理事长;2011年获得中国中文信息学会终身成就奖;2015年获得中国计算机学会终身成就奖。



倪光南院士一直从事计算机及其应用的研究与开发,参与研制中国自行设计的第一台电子管计算机(119机),20世纪六七十年代开发汉字处理和字符识别研究,首创在汉字输入中应用联想功能。在担任计算所公司/联想集团总工期间,主持开发了联想式汉字系统、联想系列微机,分别于1988年和1992年获得国家科技进步一等奖。联想集团即以联想式汉字系统起家并由此得名。此后,一直致力于发展自主可控的信息核心技术和产业。