

国产 CPU 发展的现状与展望

马威^{1,2}, 姚静波¹, 常永胜², 解维奇¹

(1. 航天工程大学, 北京 101416;

2. 解放军 95806 部队, 北京 100076)

摘要: 分析表明发展核心技术是强国之道, 核心技术受制于人是国家安全的最大隐患。CPU 是电子设备的核心, 掌控着信息领域的安全命脉, 发展国产 CPU 必须走自主可控之路。研究 CPU 指令集分类和基本体系架构。阐述我国主流国产 CPU 产品、技术、应用领域, 国产 CPU 发展面临的主要困境, 并对国产 CPU 的发展提出评论。

关键词: 集成电路; 自主可控; 产业链; 人才政策; 产业联盟。

中图分类号: TN40; TP332 文章编号: 1674-2583(2019)04-0005-04

DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2019.04.002

中文引用格式: 马威, 姚静波, 常永胜, 解维奇. 国产 CPU 发展的现状与展望[J]. 集成电路应用, 2019, 36(04): 5-8.

Current Situation and Prospect of CPU Development in China

MA Wei^{1,2}, YAO Jingbo¹, CHANG Yongsheng², XIE Weiqi¹

(1. University of Space Engineering, Beijing 101416, China.

2. PLA 95806, Beijing 100076, China.)

Abstract — The analysis shows that the development of core technology is the way to build a strong country, and the biggest hidden danger of national security is that core technology is restricted by human beings. CPU is the core of electronic equipment, which controls the lifeline of information security. To develop domestic CPU, we must take the road of self-control. CPU instruction set classification and basic architecture are studied. This paper expounds the main domestic CPU products, technology and application fields, the main difficulties faced by the development of domestic CPU, and comments on the development of domestic CPU.

Index Terms — integrated circuit, autonomous and controllable, industrial chain, talent policy, industrial alliance.

1 引言

中央处理器 CPU (Central Processing Unit) 是电子计算机的主要设备之一, 电脑中的核心配件, 其功能主要是解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据。自 1971 年世界上第一块微处理器 4004 在 Intel 公司的诞生, CPU 的发展走过了近 50 年的历程, 目前占主流市场的仍然是 Intel 和 AMD 两大公司。虽然国产 CPU 近几年呈现百花齐放的局面, 但其性能与国外相比还有一定的差距, 应用领域还十分狭小, 这就造成我国在高性能处理器方面仍然依赖于进口, 这不仅存在着木马、漏洞和后门等严重安全隐患, 还可能成为被监视和控制的对象。自“震网”和“棱镜门”事件后, “中兴事件”再次为我们敲响警钟, 国产处理器的发展必须走自主可控的道路。

指令集是存储在 CPU 内部, 对 CPU 运算进行指导和优化的硬程序。一般将其分为两大体系结构, 复杂指令集 CISC (Complex Instruction

Set Computer) 和精简指令集 RISC (Reduced Instruction Set Computer) [1]。CPU 架构见表 1 所示。在 CISC 处理器中, 程序的各条指令是按顺序串行执行的, 每条指令中的各个操作也是按顺序串行执行的。顺序执行的优点是控制简单, 但计算机各部分的利用率不高, 执行速度慢。RISC 是在 CISC 指令系统基础上发展起来

表 1 CPU 架构

架构名称	推出公司	推出时间	采用此架构主要授权商
x86	美国 Intel、 美国 AMD	1978 年	兆芯、众志、海光等
ARM	英国 ARM (被日本软银公司收购)	1985 年	苹果、三星、AMD、TI、东芝、 微芯、高通、联发科、展讯、 飞腾、海思、瑞芯微、晶晨、 全志等
MIPS	美国 MIPS 技术公司 (被 imagination 收购)	1980 年代	龙芯、瑞昱、炬力等
SPARC	美国 SUN 公司	1987 年	德州仪器、Cypress 半导体、 富士通等
PowerPC	美国 IBM 公司	1991 年	中晟
Alpha	美国 DEC 公司	1992 年	申威

基金项目: 航天测试发射关键设备自主可控技术及应用课题 (1600070688)。

作者简介: 马威, 航天工程大学, 工程师, 硕士, 研究方向: 航天测试。

姚静波, 航天工程大学, 副教授, 研究方向: 检测技术与自动化装置。

收稿日期: 2019-03-07, 修回日期: 2019-03-22。

的，其具有指令格式统一，寻址方式少，处理速度高等优点，目前在中高档服务器中普遍采用这一指令系统的 CPU。其中 CISC 的代表架构是 x86，而 RISC 主要有 ARM、MIPS、SPARC、PowerPC 和 Alpha 等架构。

2 国产处理器的现状

中国自 2001 年开始启动处理器设计项目，至今也有近 20 年了，产生了以中科龙芯、天津飞腾、上海申威、上海兆芯等为代表的国产 CPU，并且产品的性能逐年提高，应用领域不断扩展，使中国长期以来无“芯”可用的局面得到了极大扭转，为构建安全、自主、可控的国产化计算平台奠定了基础，国产 CPU 技术正大步迈向新的阶段，国产主要处理器架构及相应的技术见表 2。

2.1 中科龙芯

“龙芯”系列芯片是由中国科学院中科技术有限公司设计研制的，采用 MIPS 体系结构，具有自主知识产权，产品现包括龙芯 1 号小 CPU、龙芯 2 号中 CPU 和龙芯 3 号大 CPU 三个系列，此外还包括龙芯 7A1000 桥片^[2]。

龙芯 1 号系列 32/64 位处理器专为嵌入式领域设计，主要应用于云终端、工业控制、数据采集、手持终端、网络安全、消费电子等领域，具有低功耗、高集成度及高性价比等特点。其中龙芯 1A 32 位处理器和龙芯 1C 64 位处理器稳定工作在 266~300 MHz，龙芯 1B 处理器是一款轻量级 32 位芯片。龙芯 1D 处理器是超声波热表、水表和气表的专用芯片。2015 年，新一代北斗导航卫星搭载着我国自主研制的龙芯 1E 和 1F 芯片，这两颗芯片主要用于完成星间链路的数据处理任务^[3]。

龙芯 2 号系列是面向桌面和高端嵌入式应用的 64 位高性能低功耗处理器。龙芯 2 号产品包括龙芯 2E、2F、2H 和 2K1000 等芯片。龙芯 2E 首次实现对外生产和销售授权。龙芯 2F 平均性能比龙芯 2E 高 20% 以上，可用于个人计算机、行业终端、工业控制、数据采集、网络安全等领域。龙芯 2H 于 2012 年推出正式产品，适用计算机、云终端、网络设备、消费类电子等领域需求，同时可作为 HT 或者 PCI-e 接口的全功能套片使用。2018 年，龙芯推出龙芯 2K1000 处理器，它主要是面向网络安全领域及移动智能领域的双核处理芯片，主频可达 1 GHz，可满足工业物联网快速发展、自主可控工业安全体系的需求。

龙芯 3 号系列是面向高性能计算机、服务器和高端桌面应用的多核处理器，具有高带宽，高性能，低功耗的特征。龙芯 3A3000/3B3000 处理器采用自

表 2 国产主要处理器架构及相应的技术

	龙芯	飞腾	申威	兆芯	众志	宏芯	海思麒麟
研发单位	中科院计算机所	国防科技大学	江南计算所	上海兆芯	北京大学	中晟宏芯	华为技术有限公司
指令集体系来源	MIPS 授权+自研	SPARC/ARM 授权	Alpha 授权+自研	X86/ARM 授权	X86 授权	PowerPC 授权	ARM 授权
相关产品	龙芯 1 号/	FT-1000/	SW-1600/	ZX-C/ZX-D/	众志-805/	CP1/	麒麟 970/
	龙芯 2 号/	FT-1500/	SW-1610/	KX-5000/	PKUnity863-1/	CP2/	麒麟 980
	龙芯 3 号	FT-2000	SW26010	KX-6000/	PKUnity863-2/	CP3	
实际应用				KH-20000	PKUnity-3-130		
	玲珑/逸珑/ 福珑/ 北斗导航 卫星	天河一号/天 河二号/天河 三号	神威蓝光/ 神威·太湖之 光	联想台式机、 笔记本、服务器/ 火星舱存储系统	手持终端/ 多媒体计算机	RedPOWER 服务器	华为 P20/Mate20

主微结构设计，主频可达到 1.5 GHz 以上；计划 2019 年面向市场的龙芯 3A4000 为龙芯第三代产品的首款四核芯片，该芯片基于 28 nm 工艺，采用新研发的 GS464V 64 位高性能处理器核架构，并实现 256 位向量指令，同时优化片内互连和访存通路，集成 64 位 DDR3/4 内存控制器，集成片内安全机制，主频和性能将再次得到大幅提升。

龙芯 7A1000 桥片是龙芯的第一款专用桥片组产品，目标是替代 AMD RS780+SB710 桥片组，为龙芯处理器提供南北桥功能。它于 2018 年 2 月份发布，目前搭配龙芯 3A3000 以及紫光 4G DDR3 内存应用在一款高性能网络平台上。该方案整体性能相较于 3A3000+780e 平台有较大提升，具有高国产率、高性能、高可靠性等特点^[4]。

2.2 天津飞腾

天津飞腾公司是中国国防科技大学高性能处理器研究团队建立的企业，其生产的处理器采用 SPARC/ARM 架构，可应用于政府办公、互联网、电信、金融、税务等行业信息化系统，以及数据中心、高端服务器上。产品主要有 FT-387SX、流处理器 YHFT64-2、FT-1000 系列、FT-1500 系列和 FT-2000 系列，其中 FT-1000 和 FT-1500 系列 CPU 已经成功应用于我国千万亿次服务器“天河一号”和“天河二号”。“天河二号”目前已经广泛应用于天文宇宙科学研究、大气海洋环境研究、工业设计制造、新能源新材料开发利用、生物医药与健康医疗等领域。在工业制造方面，应用“天河二号”，中国商用飞机有限公司全机气动参数优化设计 6 天完成过去 2 年的工作量。生物医药健康产业方面，在“天河二号”的帮助下，企业进行人类基因组测序，2 000 人基因组 30X 深度测序，8 小时就可以完成原来 8 个月的工作量。“天河三号”将采用全自主创新设计，自主飞腾 CPU，自主天河高速互联通信，自主麒麟操作系统，并有望在 2020 年成功开发。其计算能力将比“天河一号”高出 200 倍，存储容量将增加 100 倍^[5]。

2.3 上海申威

申威处理器简称“SW 处理器”，出自于 DEC

的Alpha 21164, 采用 Alpha 架构, 具有完全自主知识产权, 其产品有单核 SW-1、双核 SW-2、四核 SW-410、十六核 SW-1600/SW-1610 等^[6]。神威蓝光超级计算机使用了 8704 片 SW-1600, 搭载神威睿思操作系统, 实现了软件和硬件全部国产化。而基于 SW-26010 构建的“神威·太湖之光”超级计算机自 2016 年 6 月发布以来, 已连续四次占据世界超级计算机 TOP500 榜单第一, “神威·太湖之光”上的两项千万核心整机应用包揽了 2016、2017 年度世界高性能计算应用领域最高奖“戈登·贝尔”奖。

2.4 上海兆芯

上海兆芯集成电路有限公司是成立于 2013 年的国资控股公司, 其生产的处理器采用 x86 架构, 产品主要有开先 ZX-A、ZX-C/ZX-C+、ZX-D、开先 KX-5000 和 KX-6000; 开胜 ZX-C+、ZX-D、KH-20000 等。其中开先 KX-5000 系列处理器采用 28 nm 工艺, 提供 4 核或 8 核两种版本, 整体性能较上一代产品提升高达 140%, 达到国际主流通用处理器性能水准, 能够全面满足党政桌面办公应用, 以及包括 4K 超高清视频观影等多种娱乐应用需求。开胜 KH-20000 系列处理器是兆芯面向服务器等设备推出的 CPU 产品。开先 KX-6000 系列处理器主频高达 3.0 GHz, 兼容全系列 Windows 操作系统及中科方德、中标麒麟、普华等国产自主可控操作系统, 性能与 Intel 第七代的酷睿 i5 相当^[7]。

3 国产 CPU 发展面临的困境

3.1 生态环境

(1) 产业环境。目前国产CPU的研制主要徘徊在中低端产品, 整体性能与国际领先水平还有一定的差距, 高端芯片还严重依赖于进口。从图 1 我们可以看出, 我国的集成电路 IC (Integrated Circuit) 自给率还是非常低, 2018 年仅为 13% 左右, 其中大部分还主要是中低端产品, 至于高端的 CPU 芯片, 自给率几乎为零。所以, 在相当长一段时间内, 如果国产 CPU 无法实现弯道超车, 科技安全乃至国家安全的咽喉, 仍然会被别人紧紧扼住。

(2) 软件环境。CPU 的发展离不开操作系统和应用软件, 性能优越的 CPU 也不能靠自身独立运

行。以英特尔和微软长期组成的“芯片硬件+软件”的“Wintel” (Microsoft 系统+Intel 芯片) 联盟中, 中国企业即便是能够达到 Intel 的硬件水平, 但还是无法突破微软的软件垄断。因为软件的开发不是单靠一家公司或企业能够完成, 并且应用软件还需要更多的用户来使用。因此, 在大力发展硬件的同时, 构建出自己的软件生态环境也是十分必要的。

3.2 系统架构

目前国内 CPU 的架构全是出自国外授权, 不论是构建自己的技术体系的龙芯、申威, 还是自己设计微结构的飞腾、君正、众志, 或者是和国外厂商合作、合资的兆芯、宏芯等, 他们都面临着无法逾越的专利壁垒。在国产 CPU 开发的道路上, 哪怕仅仅走错一小步, 也会面临专利侵权的危险。唯一的办法就是构建属于自己的体系架构, 真正实现自主可控。

3.3 专业人才

硬件产业是技术密集型行业, 需要大量的高级管理和技术人才, 人才的引进光靠企业自身是很难办到的。由于国内的经济不协调, 社会对发展国产 CPU 的认识程度还不足, 优秀的人才都愿意去条件优越的互联网或金融行业, 致使在国产芯片行业里人才缺口严重, 急需补充大量的新鲜血液。

3.4 制造装备

CPU 的制造需要经历几百道不同工艺加工, 而且全部都是基于精细化操作, 任何一个地方出错都会导致整片晶圆报废, 在 100 多平方毫米的晶圆上制造出数十亿个晶体管, 需要很多精密的仪器来完成。单说制造仪器中的光刻机, 最先进的源于荷兰, 但荷兰很少将先进的光刻机卖给中国, 至于原因不言而喻, 目前我国也只有上海微电子装备(集团)股份有限公司能生产出中端光刻机。制造仪器的落后也是影响国产 CPU 发展的关键因素。

4 国产 CPU 发展的几点思考

中兴事件启示我们, 引进国外高新技术不是长久之计, 关键核心技术是国之重器, 必须牢牢掌握在自己手中。国产 CPU 的发展, 最根本的就是走自主可控的发展道路。在“自主”和“可控”的关系上, “自主”是前提, 没有“自主”, 何谈安全可靠, 更不用提实现“可控”; “可控”是目的, 撇掉“可控”去谈“自主”, 那“自主”也是毫无意义的“自主”。

4.1 可持续发展的环境

我国是市场经济体制, 市场经济的三大规律是价值规律、供求规律和竞争规律, IC 产业的发展也必须遵循这三条规律。国产 CPU 经过多年的发展, 已经在各行各业等到一定的应用, 而且随着技术的逐渐成熟, 供求关系不断增长, 目前急需提升在市



图 1 中国集成电路销售额及自给率情况

(数据来源: 中商产业研究院)

场环境下的竞争能力。

生态环境的可持续发展同样需要国家来调控,我国的 IC 产业生态环境复杂,急需国家政策方针的介入和社会各界的关注,制定出适合我国自身的标准,达到整个产业链的协同全面发展。可喜的是,近年来,国产 CPU 研发实现了重大的突破,政府和社会各界投入了巨大的资源,2018~2019 年中央国家机关信息类产品(硬件)和空调产品协议供货采购项目征求意见稿显示:龙芯、申威、飞腾的 CPU 被列入中央机关采购名录。只有在市场主导和政策引导的双重作用下,国产 CPU 才能实现可持续的发展。

4.2 高级管理与技术人才

人才是创新的动力,是我们能否摆脱科技发展的瓶颈的源泉所在,重视人才战略才能使国产 CPU 的发展看到曙光,迎接朝阳的到来。

首先,政府要指定出留心留人的人才政策,人才政策是引进高级管理和技术人员的基础,没有政策上的倾斜,吸引人才只会变成一句空话。其次,社会要加大宣传力度,通过组织各项活动提升社会各界人员参与硬件的开发与研制。

由中国计算机学会主办的国产 CPU 并行应用挑战赛(CPC)已经举办两年了,大赛旨在激励学术和产业界开发国产 CPU 应用的积极性、创造性,理论与实践相结合,硬件软件相结合,发掘典型应用,培养创新人才。最后,还要重视对大学生的培育,增加相应的 Linux 和开源软件的课程,通过学习探讨,激发他们的兴趣爱好,使之成为国产 IC 行业培养后备人才。

4.3 中国化的“产业联盟”

自 1980 年代来,“Wintel”联盟就主导着全球 PC 市场。在这种联盟的影响下,全球个人电脑产业形成了所谓的“双寡头垄断”格局。中国要发展自己的 CPU 产业,必须也要有坚强的同盟,走合作发展之路,软硬件企业不能各自为战,要进行强强联合,不断提升整体性能水平,共同推动国产化产业进程。2018 年 10 月 17 日,中国 RISC-V (China RISC-V Industry Consortium) 产业联盟和上海市 RISC-V 专业委员会在上海正式成立,联盟将秉承开放、合作、平等、互利的原则,致力于解决中国 RISC-V 领域共同面对的关键问题,建立中国国产自主、可控、安全的 RISC-V 异构计算平台,促进形成贯穿 IP 核、芯片、软件、系统、应用等环节的 RISC-V 产业生态链^[8]。

随着我国在云计算、大数据、物联网等新应用的蓬勃发展,信息安全已经摆在突出的位置。经过国家“核高基”科技重大专项的长期支持,国产自主可控关键软硬件技术已经取得重大突破。在 2017 年 4 月,永恒之蓝病毒使得广东省云浮市所有 x86 机器感染勒索病毒不能工作,3 台龙芯 3A3000 终端

未受影响而使 12345 市民热线服务平台顺利渡过难关,保障了 12345 的不间断运作。基于兆芯解决方案的国产桌面计算机在十九大期间圆满完成了会务信息保障工作,标志着自主可控平台计算机能够保证国家重要领域的信息安全。国产 CPU 的发展道路,自主可控势在必行。

5 结语

2018 年是国产 CPU 发展的一个里程碑。这一年里,龙芯和深度科技研发的企业级私有云存储产品可为用户提供可定制的私有云存储解决方案。基于兆芯开先 KX-5000 和寒武纪人工智能芯片 MLU100 的自动驾驶运算域控制器,器件的国产率达到 98%。“神威”E 级超算原型机正式投入运营,实现了完全自主可控——处理器、网络交换芯片、消息处理芯片等核心器件全部实现国产化。国产 CPU 正在自主可控的道路上蓬勃发展。

自主创新是攀登世界科技高峰的必由之路,自主可控是达到技术安全和网络安全的必要条件^[9-13]。我们一定要牢记国家发展“核高基”重大专项的初心,相信国产自主可控 CPU 一定会在全国人民的共同努力下迅速发展成熟,更好地保障国家信息安全。

参考文献

- [1] 徐伟民,严允中. 计算机系统结构(第3版)[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [2] 龙芯芯片产品技术白皮书 V2.7[M].
- [3] 北斗导航卫星“龙芯”上天[J]. 红外,2015,36(04):50.
- [4] 张建民,张前峰. 龙芯2F便携机主板中断机制研究与实现[J]. 东莞理工学院学报,2015,22(01):13-18.
- [5] 中国电子CEC展示飞腾FT-2000/64芯片[J]. 集成电路应用,2016(09):18.
- [6] 曾宪荣. 中国国产化处理器进展综述[J]. 集成电路应用,2018,35(01):13-18.
- [7] 马宇川. 中国CPU兆芯X86处理器芯片特性及其应用[J]. 集成电路应用,2017,34(03):73-78.
- [8] 王龙兴. 全球高端集成电路产品研发分析[J]. 集成电路应用,2017,34(12):11-18.
- [9] 芮雪,王亮亮,杨琴. 国产处理器研究与发展现状综述[J]. 现代计算机(专业版),2014(08):15-19.
- [10] 魏肖. 中国高端处理器芯片的发展战略分析[J]. 集成电路应用,2017,34(08):13-16.
- [11] 苗圩——深化改革创新 加快建设制造强国、网络强国[J]. 广西节能,2017(01):15-17.
- [12] 李祥敬. 探讨国产CPU自主化之路[J]. 集成电路应用,2015(06):10-12.
- [13] 石春琦. 智能处理器芯片的市场发展趋势分析[J]. 集成电路应用,2017,34(11):9-12.