

基于 RISC-V 的开源芯片生态发展现状及未来机遇

种丹丹

赛迪智库集成电路研究所

摘要:主打开源的 RISC-V 指令集,从物联网等新兴市场切入,与闭源的 X86、授权费用昂贵的 ARM 等主流指令集生态形成差异化竞争,是一股有望打破当前全球处理器垄断格局的重要力量。尤其是在 Arm 公司可能面临被英伟达收购、中立性丧失的担忧下,全球客户迫切需要培育额外的供应商以确保供应链多元化,基于 RISC-V 指令集的开源芯片技术与生态引发国内外广泛关注。本文对 RISC-V 开源架构发展现状进行了整体概述,分析了当前 RISC-V 生态发展面临的机遇和挑战,并提出我国 RISC-V 开源生态的发展建议。

关键词:开源;RISC-V;指令集;处理器生态

Current Status and Future Opportunities of Open-source Chip Ecosystem based on RISC-V

CHONG Dan-dan

CCID Wise Integrated Circuits Research Institute

Abstract: The open-source RISC-V instruction set architecture (ISA), cutting into emerging markets such as the Internet of Things (IoT), which forms differentiated competition with mainstream ecosystem such as closed-source X86 and expensive ARM, is an important force that is expected to break the current processor monopoly. Especially when Arm is facing the concern of being acquired by NVIDIA and the possible loss of neutrality, global customers

urgently need to cultivate additional suppliers to ensure the diversification of the supply chain. The open-source chip technology and ecosystem based on RISC-V have caused a wide range of domestic and foreign attention. This paper will provide an overall overview of the development status of the open-source RISC-V, analyze the opportunities and challenges for RISC-V ecosystem construction, and put forward some suggestions for the development of China's open-source RISC-V ecosystem.

Keywords: Open-source; RISC-V; ISA; Processor Ecosystem

0 引言

处理器指令集是构建核心基础软硬件生态系统的重要基石。CPU 主要有两大类指令集:一是复杂指令集 (Complex Instruction Set Computing, CISC) 架构,以 X86 为代表;二是精简指令集 (Reduced Instruction Set Computing, RISC) 架构,以 ARM、MIPS、POWER、RISC-V 等为代表。所谓指令集,从定义角度,它是一套将程序语言翻译为机器语言的规范,是软硬件协同的接口,既向上承载整个软件生态、又向下规范以处理器芯片为代表的整个硬件生态,是 CPU 生态划分的重要依据。另外,从技术角度,历史上曾涌现 Alpha、Sparc、POWER、X86、ARM、MIPS 等诸多架构,但由于生态、工艺技术、市场等问题,经历残酷的优胜劣汰之后主流市场已趋向于统一。

处理器应用和推广高度依赖生态体系建设。CPU 技术路线之争早已成为产业生态的竞争,涉及指令集、操作系统、总线标准等技术要素,也涉及商业模式、资金、人才等市场要素。应该看到,生态系统内部各环节形成循环演进机制,操作系统依靠 CPU 作硬件支撑,CPU 依靠操作系统向用户推广。例如:在桌面和服务端领域,“Wintel 联盟”长期占据 90% 以上市场份额,并不断通过控制架构授权、掌握核心专利、定义接口标准、优化工艺制程等方式巩固垄断地位;在移动终端领域,“ARM-Android 体系”已占据 95% 以上市场份额,并通过专利授权、开源软件、开放生态等方式积累海量开发者。此外,ARM 生态也正向 X86 优势领域发起挑战。近期苹果发布了采

用 ARM 架构开发的 M1 处理器芯片,是 RISC 架构在 PC 及服务端领域具有巨大潜能的有力例证。

开源模式成为打破垄断、降低芯片设计门槛的重要趋势。芯片尤其是处理器领域面临知识产权受限、技术门槛极高、研发成本昂贵、生态体系垄断、市场需求复杂等诸多挑战。主要表现:一方面,现有垄断生态体系抬高芯片设计门槛,导致只有少数企业能够承担中高端芯片的巨额资金和人力投入,严重制约芯片领域的创新;另一方面,摩尔定律放缓,未来先进制程的芯片制造面临更高的技术和资金壁垒。鉴此,根据交易成本理论和杰文斯效应,高质量的开源技术能够降低交易成本、提升技术普及度、扩大市场规模,进一步激活整个创新活跃度。其中,开源软件为互联网领域极大地降低开发门槛,提高企业自主能力,推动良性竞争及创新,提供了有力武器;而 RISC-V 打开了相对应的开源硬件之门,通过开源社区打破壁垒,避免重复造轮子,促进开发者之间的高效协作,为整个芯片行业注入新动能。

1 RISC-V 指令集发展现状

RISC-V 是一个基于 BSD 开源协议的精简指令集架构。2010 年,美国加州大学伯克利分校的研究团队推出一套基于 BSD (Berkely Software Distribution) 协议许可的开源指令集架构 RISC-V,其原型芯片于 2013 年流片成功。RISC-V 主要特征包括:

一是指令精简。RISC-V 从设计理念上汲取以前指令集的经验教训,摒弃历史包袱、追求简洁至

上,不用向后兼容,指令集文档相对更短(相比多达5000页的X86指令集手册、约2700页的ARM指令集手册,RISC-V指令集手册只有200多页)。精简的代码尺寸能够有效减小系统成本功耗并提高执行效率,可让开发者上手更快。

二是模块化、可拓展。RISC-V基本指令集只有47条,提供基本指令集+标准扩展(1+N),为厂商提供更高的灵活性及定制化生产的前提。不仅可显著降低芯片开发周期和门槛,更有助于厂商提升差异化竞争力。

三是采用BSD License开源协议。该协议允许使用者修改、重新发布开源代码,也允许其基于开源代码开发商业软件进行发布和销售,可提供开放免费、可授权、封闭设计三种知识产权模式,有利于构建产业生态并推动技术及商业模式创新。

基金会推动全球RISC-V生态不断发展壮大。美国加州大学伯克利分校于2015年成立非盈利组织RISC-V基金会(RISC-V Foundation),负责RISC-V指令集架构及其软硬件生态的标准化、保护和推广,旨在汇聚全球创新力量共同打造RISC-V生态。据其官网显示,基金会已吸引全球50多个国家、超过1000家会员加入,覆盖软硬件公司、研究机构和投资机构,生态阵容快速壮大,市场势头正在增强。为持续保证对开源技术和软件支持及规避潜在政治风险,RISC-V基金会于2019年11月宣布总部注册地将从美国特拉华州迁往瑞士,并于2020年3月完成法律实体过渡,更名为RISC-V国际协会(RISC-V International Association),体现出中立姿态。

各国表现出对开源RISC-V的高度重视。尽管美国在IP授权方面已实现垄断,但美国国防高级研究计划局(DARPA)连续多年对RISC-V指令集的研究和实用化给与专项支持,推动开源IP项目。另外,欧洲数字主权行动加速,在欧洲处理器计划(EPI)中明确支持RISC-V和ARM架构。其它,如以色列国家创新局成立GenPro工作组,旨在开发基于RISC-V的快速、高效且独立的处理平台;印度政府

大力资助RISC-V处理器项目,使RISC-V成为事实上的国家级指令集;包括我国北京、上海、武汉、深圳等地方政府也在积极推动RISC-V相关的产业联盟、产学研基地、技术交流平台、联合实验室等。其中,中国开放指令生态(RISC-V)联盟、RISC-V产业联盟等吸引了国内众多企业和研究机构,聚力助推RISC-V生态建设。

RISC-V开源生态正进入加速发展期。RISC-V社区汇聚了来自不同时区、不同文化、不同国家、不同研究背景的优秀人才。主要表现:一是在基础研究方面,基于RISC-V的前沿研究不断深入,为开源社区培养和输送一批技术人才,贡献创新力量。二是在控制领域与物联网场景,涌现出一批基于RISC-V的优秀产品和应用案例,树立发展信心。三是在软件开源社区方面,针对RISC-V的适配与优化逐渐增多,奠定生态基础。四是在资本市场方面,国际巨头和投资机构对RISC-V关注度提升,助力企业发展。如代表企业SiFive于2020年获得由SK海力士领投的6100万美元E轮融资,包括高通、英特尔、西部数据等也位列投资方名单;作为SiFive重要股东的成为资本已于2021年加入RISC-V董事会及技术指导委员会,其是RISC-V董事会中唯一一家投资机构。又如国内初创IP企业芯来科技也完成由小米长江产业基金领投的新一轮战略融资。

2 发展机遇

新模式、新生态极大降低产业进入门槛。主要表现:一是IDEA带动芯片设计从自动化演变为智能化。美国推出“电子复兴计划-IDEA(智能全自动EDA)项目”,依托EDA龙头企业和高等学府,结合人工智能技术,从国家战略层面推进无需人工参与的芯片设计全流程计划。二是Chiplet助推封测与晶圆制造及组装融合。芯粒(chiplet)技术把SoC按照功能进行切割,有助于实现IP复用,带来良率提高、成本下降、功率密度降低,并让设计最佳化。三是架构开源催生一批新兴企业。以RISC-V为代表的开

源指令集受到国内外广泛关注, 开源芯片和开源软件等工具和模式创新可降低设计业门槛, 为芯片企业带来新机遇。

新工艺、新应用促进处理器市场增长。在工艺方面, 先进处理器架构设计和制造从“紧耦合”向“松耦合”转变, 将全球 CPU 开发者拉到同一起跑线。应该看到, 英特尔 X86 架构的领先得益于其制造工艺与芯片设计的协同, Tick-Tock 策略一直引领 CPU 及其生态发展。但在移动智能终端市场发展带动下, 台积电等代工厂先进制造能力已赶上甚至反超英特尔, 处理器设计和制造正在发生解耦合, AMD、英伟达、苹果等借助台积电先进工艺, 对 PC 和服务处理器带来一定冲击。为应对挑战, 英特尔于 2021 年 3 月推出 IDM2.0 战略, 强化处理器制造能力。此外, 在应用方面, 人工智能浪潮将催生 FPGA、GPU 等芯片市场的新增长点, 汽车、工业控制、AIoT 等将驱动 MCU 处理器的快速发展。

万物互联时代为 RISC-V 带来变革性机遇。根据贝尔定律, CPU 和操作系统等系统架构决定运算平台, 运算平台每隔 10~15 年会发生一次重大演进, 而运算芯片的系统架构会随应用市场及商业模式的改变而发生一次重大变革。毫无疑问, PC 时代催生 Intel+Microsoft 生态, 智能手机时代催生 ARM+Android/iOS 生态, 智能物联网时代也将催生新的组合。主要机会在于: 一方面, 物联网、云计算以及 5G 等发展将带动大量碎片化的 IoT 芯片应用需求, 与 RISC-V 开源架构精简、灵活、模块化的特性相契合。另一方面, 相比传统的 PC、手机等产品, 新兴的智能硬件产品对 CPU 性能和应用生态的依赖较低, 而对 CPU 功耗、体积及成本高度敏感, 部分 RISC-V 嵌入式 CPU 具备比同类 ARM、X86 架构 CPU 更低功耗、更小面积及更低价格。这些新兴市场尚未形成巨头一家独大或强强垄断, 行业大量事实标准还未确立, 成熟的产业生态还未形成, 这为 RISC-V 发展带来弥足珍贵的机会窗口。

众多科技巨头和初创公司加盟推进开源生态。RISC-V 近几年获得了惊人成长, 包括西部数据、高

通、恩智浦、谷歌、Microsemi、英伟达、三星、IBM、亚马逊等众多科技巨头, 以及加州大学伯克利分校、普林斯顿大学、麻省理工学院、瑞士苏黎世联邦理工学院、新加坡南洋理工大学、印度理工学院等研究机构纷纷加入 RISC-V 阵营。RISC-V 在国内更是备受欢迎, 包括中科院计算所、中科院软件所等重点科研院所, 以及阿里平头哥、兆易创新、全志科技、华米科技、芯来科技、睿思芯科、优矽科技、希姆计算等企业均对 RISC-V 开源架构寄予厚望。据市场调研机构 Semico Research《RISC-V 市场分析: 新兴市场》报告预测, 到 2025 年, 全球 RISC-V 架构芯片数量将达到 624 亿颗, 年复合增长率高达 146%, 并进入计算机、消费电子、通信、交通和工业市场; 其中工业应用将占据 167 亿颗内核, 成为最大的细分市场。据 Tractica 预测, 到 2025 年, 全球基于 RISC-V 的 IP 和软件工具收入将增加至 11 亿美元。

3 面临挑战

国外巨头凭借先发优势, 在主流处理器市场形成垄断。在知识产权方面, 英特尔保持对 X86 架构知识产权的绝对控制, Arm 公司控制 ARM 架构的市场主导权, 苹果借助自身 iOS 和 Mac OS 操作系统在移动端和桌面端自成体系, 微软和谷歌在操作系统、数据库、应用软件等领域积累大量专利, 龙头企业通过高额研发投入、强大技术实力不断深化垄断地位。在行业标准方面, 国际上欧美龙头企业通过技术优势主导 CPU 外围硬件生态, 如内存条接口、显卡接口、硬盘接口、总线接口等。在整机合作方面, 龙头企业通过掌控芯片定价权, 与下游 PC、服务器应用企业形成深度绑定关系。后发企业很难建立新的事实标准, 打破已形成路径依赖和用户偏好的垄断生态面临多方面挑战。

其他架构加入开源生态竞争, 龙头企业正加速布局。RISC-V 不是唯一的开源指令集。收购 MIPS 的 Wave Computing 公司于 2018 年底宣布开源最新 MIPS Release6 版本指令集, 后又闭源; 近期所属公

司宣布放弃 MIPS 架构、转投 RISC-V 阵营。IBM 于 2019 年开源旗下 Powerup 架构,借助 OpenPOWER 联盟和 OpenPOWER 基金会,着力在芯片设计、系统设计、开源软件层面推动 POWER 生态。一方面,各架构探索开源模式,凸显硬件开源已成为大势所趋,但也部分对冲 RISC-V 一直主打的开源优势,同时分散市场、资金、人才等资源;另一方面,英特尔、AMD、英伟达等龙头企业通过并购加速布局面向未来的异构计算领域,打造多元化产品组合,而 RISC-V 仍需寻求更多大企业的持续关注和系统软件的坚定支持。

从生态角度看,RISC-V 目前尚缺少完备的生态系统。主要问题在于:一方面,RISC-V 生态远不如 X86、ARM 成熟。仅仅指令集的开源还远远不够,整个产业要实现类似互联网行业的敏捷开发、快速迭代,需要包括开源处理器、开源工具链、开源 IP、开源 SoC、操作系统、编译支持等全方位生态。目前 RISC-V 在对生态依赖较小的嵌入式、低功耗场景应用方面进展较快,专用芯片已有一定出货量,但整体覆盖面仍不够、安全指令缺乏等,距离生态丰富且稳固的服务器、桌面以及手机等传统领域还有很长一段路要走。针对物联网市场,RISC-V 尚待大量应用检验;面向高性能芯片领域,RISC-V 尚需统一操作系统、算法库等软件生态的支持。另一方面,RISC-V 生态可能会呈现碎片化。RISC-V 指令集的可扩展性,赋予各厂商在设计硬件时的灵活性和自由度,但可能会由于需求多元、设备多样或持续共享意愿降低而出现开发标准不一、生态破碎的问题。如果缺乏强有力的主导厂商,将难以形成广泛接受的通用运算平台。

4 发展建议

处理好战略与市场、自主与开放的关系。在强调科技自立自强的同时,开放发展也是必要选择,统筹好国内国际两个大局,有助于释放创新活力、共享全球先进成果。具体建议:一方面,加强顶层设计,对不

同指令架构进行差异化定位。从更高层次看到开源硬件的战略意义,制定开源芯片生态发展规划,将 RISC-V 作为 CPU 国产化的重要选项之一,及早对新一代运算平台进行布局。同时,考虑到复杂多变的国际形势,仍需评估出口管制风险,加快自主的开源基金会、自主的开源代码托管平台建设,以便在极端情况下仍能自由访问这些开源项目。另一方面,发挥各市场主体的主观能动性,构建可持续的正反馈投入机制。目的在于:一是探索打通不同技术路线之间的发展壁垒,提高兼容性,降低迁移成本。二是不断提升我国在全球开源生态中的话语权,作为与国际接轨的重要通道,发出中国声音、贡献中国方案,形成在国际产业链中无法被轻易取代的价值优势。

推动各界共建 RISC-V 产业生态。具体建议:一是主导厂商加快开发 RISC-V 产业化成果,并通过大量市场应用持续检验,尽快形成具备一定市场竞争力的产品和生态引领能力的龙头企业,带领更多参与者实现从低端量变到高端质变。二是科研机构加强面向后摩尔时代的前瞻性技术探索,跟踪新兴的具有突破性和颠覆性的处理器设计方法,争取抢占新一代技术制高点。三是推动指令集知识产权和标准服务体系建设。支持本土企业、机构、标准化组织积极参与国际 RISC-V 标准和规则制定,鼓励国内加快打造统一的软硬件接口和技术标准,依托 RISC-V、Linux 等开源社区平台,争取在部分细分市场持续扩大我国的差异化竞争优势。四是有效整合资源,推动产业链上下游龙头企业围绕新兴架构打造灵活的虚拟 IDM 联盟,并吸引更多的工具链、软件和下游应用厂商参与生态共建和持续繁荣。

强化处理器人才队伍建设。重视处理器人才引进和培育工作,构建高效的人才遴选、汇聚、使用机制。具体建议:一是探索多维度人才政策。建立针对引进全球范围内新兴指令集开发人才及其团队的长效激励机制,加快人才梯队建设。二是完善处理器领域复合人才培育体系。强化集成电路一级学科建设,探索在高校教学中普及开源 RISC-V 指令集的可行性,持续加强处理器体系架构、操作系统、编程与编

译等学科交叉培养。三是支持龙头企业在研究型大学和优势科研院所建立青年人才培养基地。着力发现培养战略科学家,对拔尖学生和优秀苗子进行定向跟踪培养,对所设计的芯片进行流片支持,强化理论与实践的深度结合,增加人才培育的实用性。四是积极推动 RISC-V 的产教融合。充分发挥集成电路产教融合发展联盟和中国开放指令生态联盟的积极作用,并支持强化拥有微电子专业的培训机构,多方位推进 RISC-V 课程设置、人才培养、设计大赛、创新创业等,为产业培养充足的后备人才。CIC

参考文献

- [1] Krste Asanović, David Patterson(译者:钱学海,谭章熹). 指令系统应该免费:RISC-V 的案例 [J]. 中国计算机学会通讯, 2015, 2(2):82-89
- [2] 王莹. 中国工程院院士、中国开放指令生态(RISC-V)联盟理事长倪光南谈未来 RISC-V 有望成为世界主流 CPU 之一[J]. 电子产品世界, 2019, 26(09):1-2
- [3] 包云岗. 关于 RISC-V 成为印度国家指令集的一些看法[J]. 中国计算机学会通讯, 2018, 14(1):38-44
- [4] 胡振波. RISC-V 的爆发, 是中国芯片产业的一次机遇 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2019, 19(07):1-3
- [5] 胡剑, 刘叶. 开源模式赋予国内处理器换道突破机会[J]. 中国工业和信息化, 2020(12):44-50.
- [6] 李韶光, 刘雷, 郎金鹏, 王建国. CPU 发展概述及国产化之路 [J]. 网络空间安全, 2020, 11(04):114-117
- [7] 种丹丹, 葛婕. MIPS 指令集开源对我国处理器产业的影响[N]. 中国计算机报, 2019-04-15(014)
- [8] RISC-V 基金会. 规避潜在贸易限制风险, RISC-V 基金会总部已从美国迁至瑞士[J]. 中国集成电路, 2020, 29(Z2):85
- [9] 新华社. 瞭望 | 天下苦 ARM 霸权久矣, RISC-V 堪当重任否, [EB/OL]. (2020-04-13). http://lw.xinhuanet.com/2021-04/13/c_139877608.htm
- [10] 中国电子报. 贝尔定律 | 继微软—英特尔、ARM—安卓之后, 谁是下一个计算平台? [EB/OL]. (2019-06-18). <http://www.cena.com.cn/ic/20190618/101051.html>
- [11] 中国电子报. Arm 出售箭在弦上, RISC-V 能否挑起大梁? [EB/OL]. (2020-08-11). <http://www.cena.com.cn/semi/20200811/108274.html>
- [12] CSDN. 国内 RISC-V 产学研基地成立, Intel、Arm、RISC-V 将三分天下? [EB/OL]. (2020-01-20). <https://blog.csdn.net/csdnnews/article/details/104058090>

作者简介

种丹丹, 中国电子信息产业发展研究院赛迪智库集成电路研究所分析师, 主要从事集成电路政策研究和产业发展研究。

中国首家 300mm 晶圆再生工厂在合肥量产

日前,安徽省合肥市人民政府发布消息称,合肥至微项目已正式量产,这是中国国内首个立项又最先量产的 300mm 晶圆再生工厂。据介绍,合肥至微项目总投资近 10 亿元,2020 年 3 月正式开工,2020 年 12 月项目设备基本搬入调试,2021 年 3 月进入试生产阶段。

该项目以 14nm 晶圆厂的再生晶圆需求为设计基础,是服务于中国半导体高档市场的首条投产的 300mm 晶圆再生产线。该项目全面达产后,可形成每年 168 万片晶圆再生及 120 万件零部件清洗的能力,满产后年产值可超过 6 亿元。(来自合肥市人民政府)