RISC-V指令集架构发展情况调研报告

RISC-V作为一款2010年由美国加利福尼亚大学伯克利分校发布的通用计算机芯片指令集，其对现代计算设备的适用、采用的较为先进的架构、使用与发展前景良好的ARM架构相同的精简指令集但无需对老版本兼容、以及赋予其最强大生命力的开源模式，使业界普遍认为RISC-V架构将在新一代技术领域中展现活力，并以更快的发展速度获得市场优势。进行相关调查和研究整理后，本文将就国内外基于RISC-V指令集架构的主要产品及其特性、相关处理器产业化流程及应用情况进行总结汇报。

经过多年的发展，RISC-V架构已经比较成熟，基于RISC-V架构研制出的的SOC在大批量小型设备处理器方面的性能与功耗表现与传统芯片制造商逐渐有了竞争力。以下是国外基于RISC-V架构的主要产品介绍。

SiFive

SiFive是一家专门研究开发基于RISC-V架构处理器及解决方案的公司。其旗下处理器IP组合群由SiFive Essential、SiFive Performance、SiFive Intelligence、SiFive Automotive四中方向组合构成。

Essential系列是基于RISC-V ISA的处理器内核产品组合，涵盖从追求高性能多核异构应用级处理器到面积优化的低功耗嵌入式微控制器的各种处理器。SiFive提供免费的内核设计器让客户可根据自身需求基于基础内核灵活调节并生成适应不同场景性能和效率调度。

E核心是32位的嵌入式内核，其中E7系列代表高性能产品线，E6系列代表中档性能，E2系列是注重低功耗和面积优化的产品线，其中E20是SiFive产品中体量最小能效比最高的核心。S核心是64位的嵌入式内核，其中S7系列为高性能产品线，S6系列为中性能产品线，S2系列是追求低能耗和低体积的产品线。U核心是64位的应用级处理器核心，包括高性能的U7、中性能的U6，其中U74、U64支持Linux的运行。此外还有SiFive 基本的3/5系列，此处不予列出。

综上Essential系列的亮点包含其包含的微架构均有极大的拓展空间、实现应用程序和实时确定性处理器的集群内混合+匹配技术、全面且预先集成的高级跟踪调试平台以及完整开放的安全解决方案。

Performance系列包含功能丰富的各种应用处理器，从入门级双发多级流水线 P270 一直到最新的无序处理器，旨在实现最大吞吐量，同时为分支机构密集型操作系统和多媒体处理等各种工作负载保持电源效率。从配备 256 位矢量引擎的8级、双问题、顺序架构，到先进的三问题和四问题无序处理器（带或不带矢量计算功能），具有一流的行业基准性能。

其中P600系列是最高性能的四期乱取矢量应用处理器系列、P500系列是高性能三期乱序矢量硬用处理器系列，P400是高能效矢量硬用处理器系列，P200则是其中最追求能效的应用处理器系列。

由SiFive于2022年11月发布的P670和P470是SiFive对可穿戴设备、智能家居、AR/VR市场提供的富有竞争力的处理器解决方案。P670 和 P470 处理器的技术亮点包括扩展的虚拟化支持、RISC-V 矢量加密技术完整无序矢量功能的率先实现、通过 SiFive 的 WorldGuard 系统提高安全性以及高级中断架构合规性。

P670 处理器专为高端可穿戴设备、网络基础设施、机器人和移动设备而设计。它建立在 5 nm 节点上，时钟频率可以超过 3.4 GHz。 SiFive 估计 P670 的得分可以超过 12 SpecINT2k6 每 GHz，这对于与 ARM 的 Cortex-A78 相比面积减少 50% 的处理器来说是非常好的。此外，与传统解决方案相比，该模型提供更高的单线程性能和两倍的计算密度，并集成了 2 个 128 位矢量 ALU。

P系列是产品化的系列，目标用于企业交换/路由/存储、智能网卡、边缘分析、大数据分析、自主机器、可穿戴设备、智能家居、工业自动化、边缘计算、5G基础设施/基站以及AR/VR/MR/XR等消费级产品上。

Intelligence系列是一款集成的软件+硬件解决方案，可满足节能推理应用的需求。它从SiFive行业领先的RISC-V核心IP开始，增加了RISC-V矢量（RVV）支持，然后更进一步，包括软件工具和新的SiFive智能扩展，矢量操作专门针对机器学习操作的加速进行了调整。这些新指令集成了支持多核、支持 Linux 的双问题微架构，具有高达 512b 宽的矢量，并与 TensorFlow Lite 支持捆绑在一起，非常适合高性能、低功耗推理应用。它避免了适用于CNN的专用加速器可能不适用于现代神经网络、可能难以编程，具有不成熟的工具、内部解决方案的维护成本可能很高的问题。

Automotive系列是专为机动车优化的CPU产品组合，为汽车制造厂商带来了行业领先的性能，具有最低的面积和功耗，并根据车辆对安全，安保和性能的特定需求量身定制。其中E6-A系列针对各种实时32B应用，从系统控制到HSM和安全岛，当然还有微控制器中的独立应用提供成套的解决方案。

此外还有不少国外的企业在做RISC-V IP/芯片的研究研发，但限于篇幅，此处仅详细记录最具代表性的SiFive。

我国作为RISC-V的其中一个大力拥护者，发展RISC-V与我国科技自立自强发展战略有不可分割的关系。由多项国际间的制裁如“中兴事件”、“华为事件”、“实体清单”等芯片卡脖子、商业制裁等现实形势促使人民更加意识到关键核心技术不能受制于人的道理，国家科技的自立自强是必经之路，作为垄断的受害者，具有开源特性的RISC-V架构得以在中国这片沃土上大受关注和支持，我国基于RISC-V架构的芯片处理器研发也在稳步推进，以下是国内基于RISC-V架构的主要产品介绍

平头哥半导体有限公司成立于2018年9月19日，是阿里巴巴集团的全资半导体芯片业务主体。平头哥拥有端云一体全栈产品系列，涵盖数据中心人工智能芯片、处理器IP授权等，实现芯片端到端设计链路全覆盖。平头哥为当前中国RISC-V架构芯片研发的领头

其旗下玄铁处理器IP是智能、安全、端云一体芯片架构的基石, 为数字化时代提供计算核心。新系列产品积极拥抱开源RISC-V架构。玄铁处理器IP广泛应用于计算视觉、数据存储、工业互联、网络通信、智能家居、生物识别、信息安全等领域, 截至目前, 玄铁处理器IP累计授权芯片出货数量超过30亿颗。

玄铁处理器中9系列是平头哥发布的基于RISC-V的处理器IP核系列，其中可分为E核心和C核心，其中E核心为MCU微控制器处理器所用核心，C核心系列服务于高性能的通用计算机。

E系列包括E902、E903、E906、E907，多用于不同功耗、性能需求的移动智能设备终端。其中尾数代表了各自核心采用的流水线级数，核心的功耗和性能也随着序号尾数增加而加强，同时可进一步选配安全执行环境以增强系统安全性。

E902兼容RISC-V架构，采用2级极简流水线并对执行效率等方面进行了增强，适用于对功耗和成本极其敏感的IoT、MCU等领域。E906兼容RISC-V架构，采用5级整型流水线，并可选性能优异的单精度或单双精度浮点单元以及32位标量DSP计算单元，适用于无线接入、音频、TWS、中高端MCU、导航等应用领域。E907兼容RISC-V架构，是玄铁MCU处理器中的性能最高的处理器核。E907主要面向语音入口MCU、TWS、MPU、导航、多模无线接入等应用领域。

C系列包括C906 C908 C910三款，定位为通用计算机处理核心，核心流水线数量随尾数增加而增多，现已在其上运行Linux操作系统以及一些通用应用软件。

C906兼容RISC-V架构，标配内存管理单元，可运行Linux等操作系统。C906采用5级整型流水线设计，并可选性能优异的单双精度浮点和128位矢量运算单元，适用于消费类IPC、多媒体、消费类电子等应用领域。C908是一款兼容RISC-V架构的64位高能效处理器，通过指令融合技术进一步提升流水线效率，实现了优越的能效比。C908兼容RVA22标准，支持RISC-V Vector 1.0标准，并基于RVV标准扩展，进一步提升AI算力。适用于智能交互、多媒体终端、AR/VR、无线通讯等高能效要求应用场景。

C910兼容RISC-V架构，采用12级超标量流水线且针对算术运算、内存访问以及多核同步等方面进行了增强，同时标配内存管理单元，可运行Linux等操作系统；采用3发射、8执行的深度乱序执行架构，配有单/双精度浮点单元，可进一步选配面向矢量运算引擎，适用于人工智能、5G、边缘服务器等对性能要求很高的应用领域。阿里巴巴称它是目前性能最强的 RISC-V 处理器，支持16核，主频 2.5GHz，单核性能达到 CoreMark 7.1 /MHz，Dhrystone 5.8 DMIPS/MHZ。阿里巴巴称其性能突破源自两大创新：一是它采用3发射8执行的复杂乱序执行架构，是业界首个实现每周期 2 条内存访问的 RISC-V 处理器；二是它基于 RISC-V 扩展了 50 余条指令，系统性增强了 RISC-V 的计算、存储和多核等方面能力。

塞防科技 于2020年10月发布 昉·天枢处理器内核 作为一款基于RISC-V指令集架构设计的64位超高性能内核，昉·天枢提供至今最完整的指令集，包括RV64GC，位操作扩展（B）、用户级中断（N），以及适合高性能计算领域的向量扩展V（Vector）V1.0与管理程序扩展H（Hypervisor）等。昉·天枢工作频率最高可达2GHz@TSMC 12nm，SPECint2006 8.9/GHz，Dhrystone 6.6 DMIPS/MHz、CoreMark 7.6/MHz。昉·天枢在微架构设计上采用了超标量、深度乱序执行等设计要素，同时还针对性能和频率做了深度的优化。

此外，在基于RISC-V的内核、芯片上，芯来科技N100、N200、N300、N/NX/UX600、N/NX/UX900、全志科技 D1芯片、嘉楠科技的AI处理器勘智K210、华米科技的可穿戴人工智能处理器黄山2S、兆易创新面向物联网及其它超低功耗场景的GD32VF103 系列 MCU、乐鑫科技面向安全稳定、低功耗、低成本的ESP32-C3的物联网芯片，中国科学院计算所2020年发布的以Chisel为硬件描述语言的高性能RISC-V处理器“香山”、以及作为授课主题的教学用简易蜂鸟E203，RISC-V在中国的生态建设正有条不紊向前推进，其商用在物联网市场已站稳脚跟，阿里基于RISC-V架构的曳影1520处理器在阿里的各种场景中已经受住考验并应用服务于现在的多种场景中。

RISC-V的出现为推动中国芯片产业发展提供了新的机遇，通过增加对开源社区贡献的方式逐步将“主流CPU”发展主动权牢牢掌握在自己手中，同时为世界科技创新贡献中国智慧和中国方案。

综上是我在RISC-V指令集架构发展情况上的调研报告，可以看出，这些产品在整体性能及应用程度上与x86或ARM架构的处理器还有一定的差距，但发展前景一片大好。RISC-V现如今已经在物联网市场站稳脚跟，向着高性能产品领域进行拓展成为下一步的重点。“继续向高主频、高性能演进；随着稳定硬件出现，软硬件全栈成为必然；走向更广的生态合作，在商业合作上涌现更多新模式、软件持续丰富、应用不断多样化，是未来RISC-V发展的三大趋势。