GOTC 2023
全球开源技术峰会

THE GLOBAL OPENSOURCE TECHNOLOGY CONFERENCE

OPEN SOURCE，INTO THE FUTURE

「基础设施与软件架构」专场

本期议题：RISC-V云计算软件开源现状及中国电信探索

崔恩放 2023年5月28日

RISC-V简介

RISC-V是什么？

- RISC-V（一般读作：“risk-five”），“V”包含两层意思：
  - 1）伯克利从RISC I开始设计的**第五代指令集架构**。
  - 2）代表变化（Variation）和向量（Vectors）。
- RISC-V是一种基于“精简指令集（RISC）”原则的**开源指令集架构**。

指令集存在问题 → **RISC-V诞生**

在2010年，已存在ARM，x86，MIPS，Power等多种指令集架构，存在如下问题：

- **复杂且不开源**，处理器内部结构不清楚，可能存在后门漏洞，无法安全可控（x86）。
- **存在专利壁垒**，昂贵的知识产权授权费用（ARM）。
- 商业公司以盈利为目的，不利于技术标准推广普及，由于容易与上下游公司产生利益冲突，**缺乏完善的产业链生态支持**（MIPS、Power)。

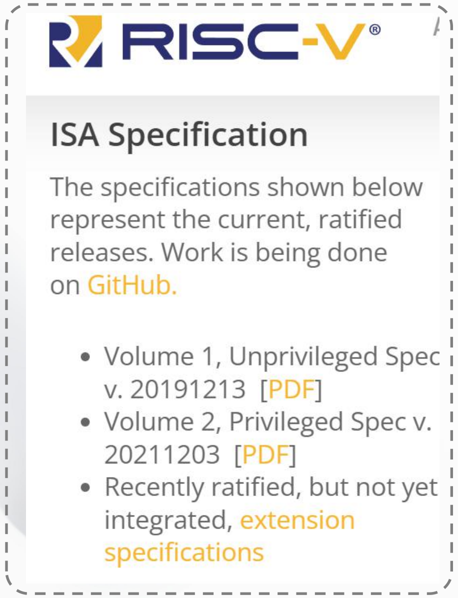
2010年，加州伯克利大学决定发明一种全新的指令集架构RISC-V解决上述问题：

- 由计算机体系结构领域的泰斗David Patterson的大力支持和推动
- **完全开源**
- **免费授权，不存在专利壁垒**
- **组织建立完整的上下游产业开发联盟**
- 成立永久的非营利性基金会管理运营
- 每年召开国际技术讨论大会

RISC-V简介

RISC-V指令集架构简介

- RISC-V指令集架构规范包含**非特权指令集**和**特权指令集**
  - 非特权指令集包含基础指令集和模块化的扩展指令集
  - 特权指令集涵盖特权指令以及运行操作系统和连接外部设备所需的附加功能



- RISC-V指令集
  - 非特权指令集
    - 基础指令集
      - 32位整数指令集（RV32I）—— 32位嵌入式指令集（RV32E）
      - 64位整数指令集（RV64I）
      - 128位整数指令集（RV128I）
    - 扩展指令集
      - 乘除法指令（M扩展）
      - 原子指令（A扩展）
      - 单精度浮点数指令（F扩展）
      - 双精度浮点数指令（D扩展）
      - 16位压缩指令（C扩展）
      - ……
  - 特权指令集
    - Machine ISA
      - 异常返回指令
      - 中断管理指令
    - Supervisor ISA
      - Supervisor内存管理指令
    - Hypervisor Extension
      - Hypervisor内存管理指令
      - Hypervisor Virtual-Machine加载和存储指令

https://riscv.org/technical/specifications/

RISC-V简介

RISC-V指令集架构简介

- RISC-V指令集使用模块化的方式进行组织，每一个模块使用一个英文字母来表示。
- RISC-V最基本也是唯一强制要求实现的指令集部分是基本整数指令集。
- 大多数RISC-V处理器都会实现MAFD组合，所以也被称为通用组合，用英文字母G表示。因此RV32G表示RV32IMAFD，RV64G表示RV64IMAFD。

基本指令集	指令数	描　述
RV32I	47	32位地址空间与整数指令，支持32个通用整数寄存器
RV32E	47	RV32I的子集，仅支持16个通用整数寄存器
RV64I	59	64位地址空间与整数指令及一部分32位的整数指令
RV128I	71	128位地址空间与整数指令及一部分64位和32位的指令

扩展指令集	指令数	描　述
M	8	整数乘法与除法指令
A	11	存储器原子（Atomic）操作指令和Load-Reserved/Store-Conditional指令
F	26	单精度（32比特）浮点指令
D	26	双精度（64比特）浮点指令，必须支持F扩展指令

Name	Description	Version	Status[a]
	Base		
RVWMO	Weak Memory Ordering	2.0	Ratified
RV32I	Base Integer Instruction Set, 32-bit	2.1	Ratified
RV32E	Base Integer Instruction Set (embedded), 32-bit, 16 registers	1.9	Open
RV64I	Base Integer Instruction Set, 64-bit	2.1	Ratified
RV128I	Base Integer Instruction Set, 128-bit	1.7	Open
	Extension		
M	Standard Extension for Integer Multiplication and Division	2.0	Ratified
A	Standard Extension for Atomic Instructions	2.1	Ratified
F	Standard Extension for Single-Precision Floating-Point	2.2	Ratified
D	Standard Extension for Double-Precision Floating-Point	2.2	Ratified
G	Shorthand for the base integer set (I) and above extensions (MAFD)	N/A	N/A
Q	Standard Extension for Quad-Precision Floating-Point	2.2	Ratified
L	Standard Extension for Decimal Floating-Point	0.0	Open
C	Standard Extension for Compressed Instructions	2.0	Ratified
B	Standard Extension for Bit Manipulation	0.92	Open
J	Standard Extension for Dynamically Translated Languages	0.0	Open
T	Standard Extension for Transactional Memory	0.0	Open
P	Standard Extension for Packed-SIMD Instructions	0.2	Open
V	Standard Extension for Vector Operations	0.9	Open
N	Standard Extension for User-Level Interrupts	1.1	Open
H	Standard Extension for Hypervisor	0.4	Open
ZiCSR	Control and Status Register (CSR)	2.0	Ratified
Zifencei	Instruction-Fetch Fence	2.0	Ratified
Zam	Misaligned Atomics	0.1	Open
Ztso	Total Store Ordering	0.1	Frozen

RISC-V非特权指令集全景图(2019年版本)

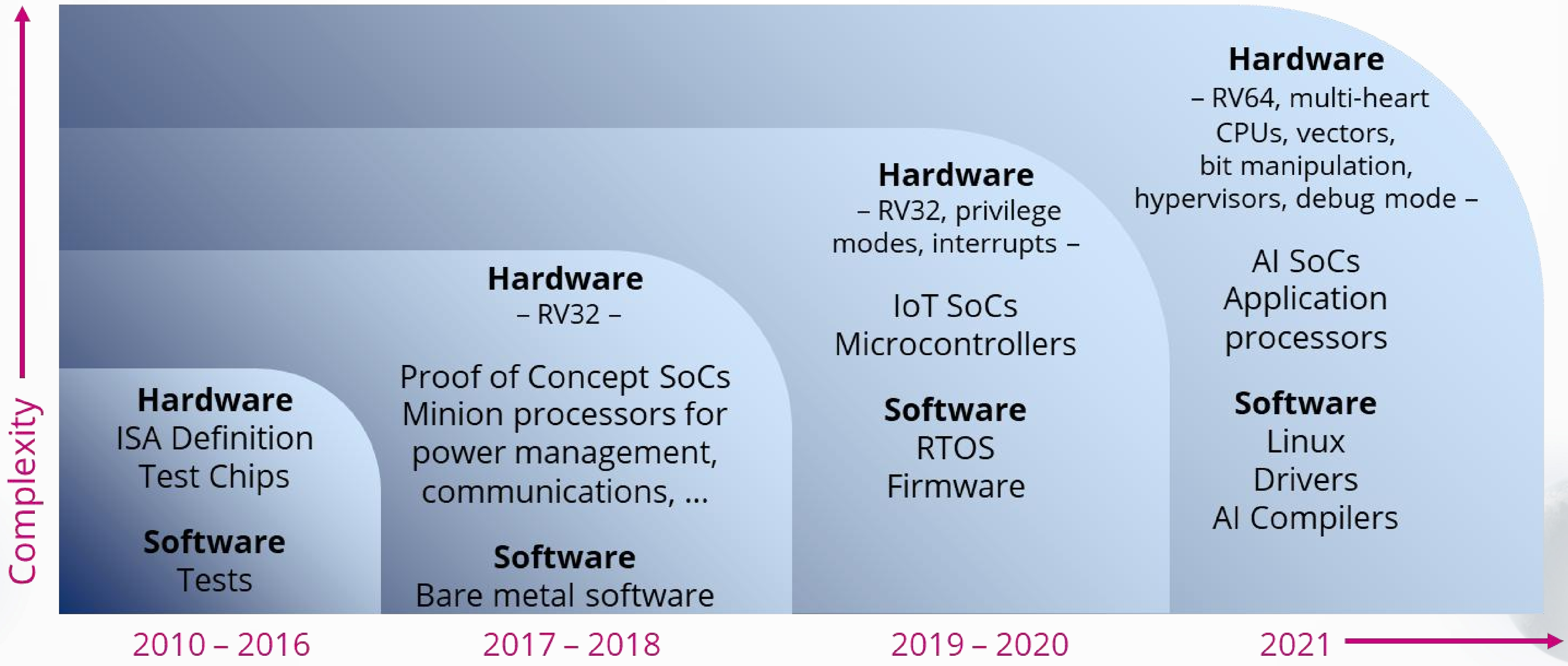
RISC-V简介

RISC-V与其他指令集的区别和优势

技术与市场	x86或ARM架构	RISC-V
架构篇幅	数千页	400多页
指令数	指令数繁多，历史冗余多	基本指令
模块化	不支持	支持
可扩展性	不支持	支持
硬件实现	复杂度高	硬件设计与编译实现简单
商业运作	x86封闭，ARM授权费用高	开源、免费
生态环境	成熟	快速起步中
应用市场	服务器与桌面PC（x86），移动和嵌入式（ARM）	从物联网切入，可覆盖从微控制器到超级计算机的全计算领域
应用特点	服务器、PC、移动和嵌入式应用领域居垄断地位	高性能（面积、功耗和性能）、普适（可自由扩展和剪裁）、可控（满足差异化和定制化）

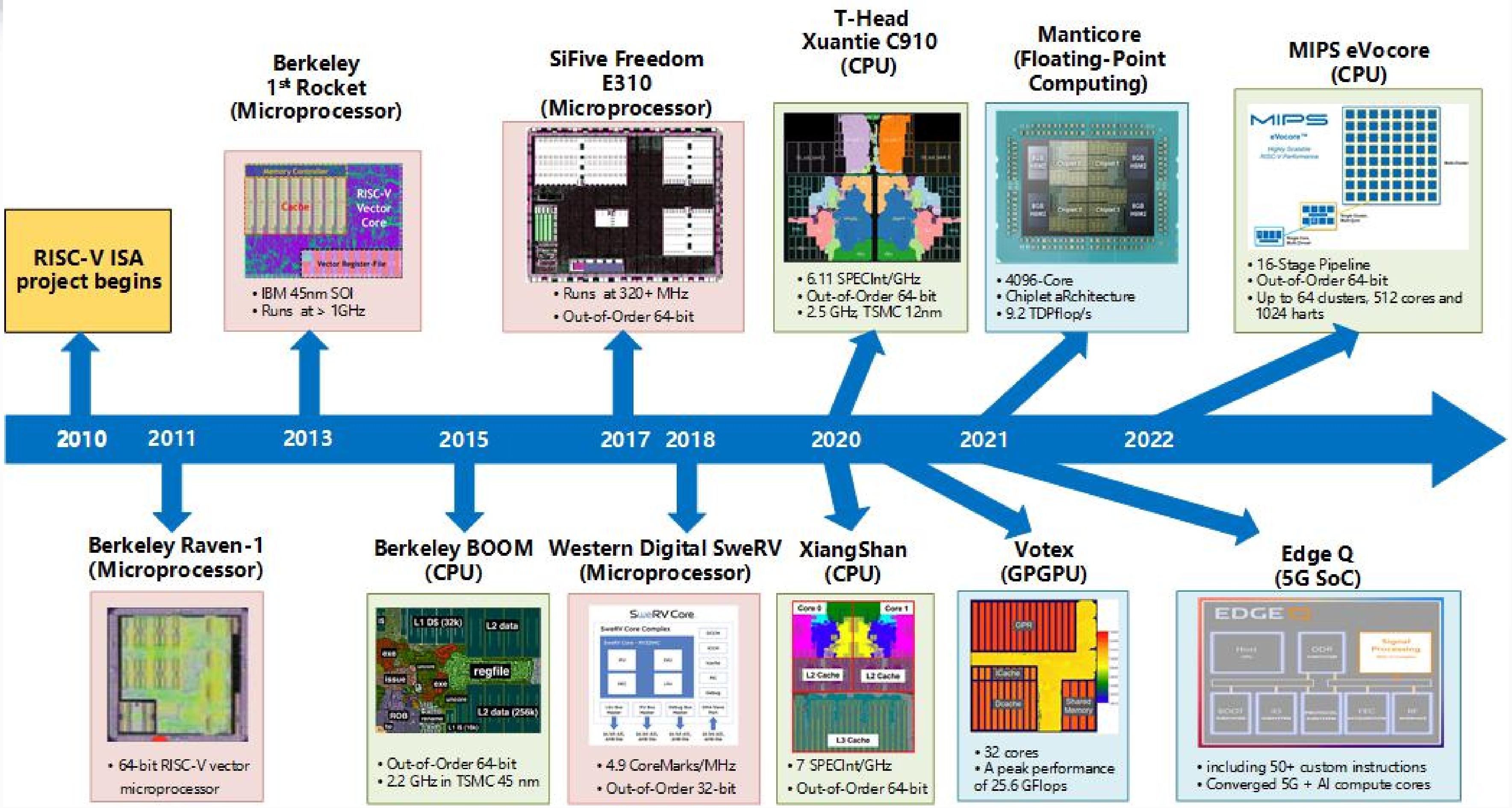
RISC-V简介

RISC-V的发展历史和全球生态现状



RISC-V简介

RISC-V的发展历史和全球生态现状

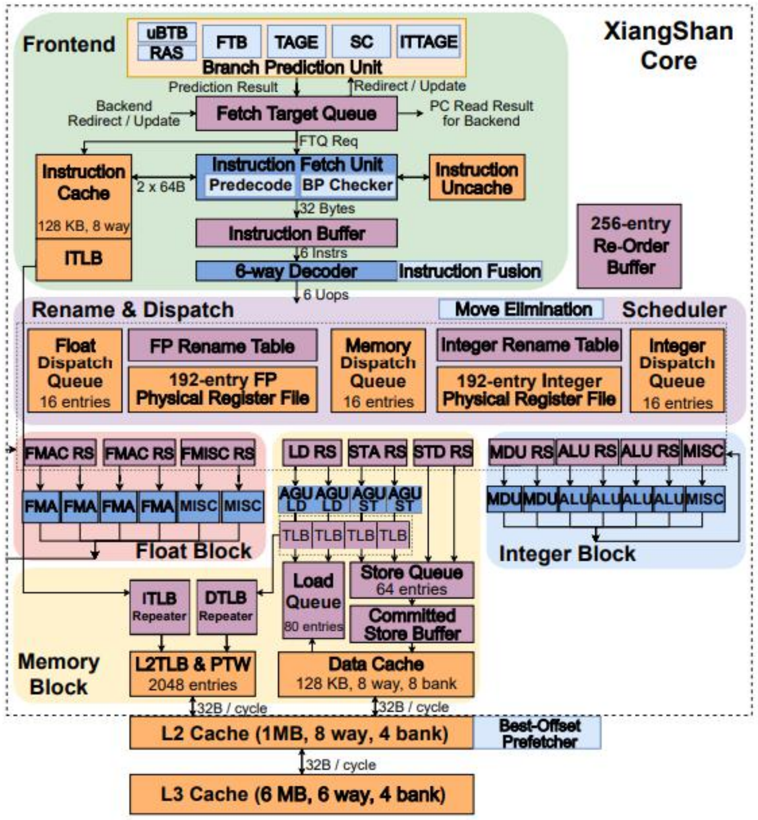


全球RISC-V芯片生态发展路线图

全球开源技术峰会
THE GLOBAL OPENSOURCE TECHNOLOGY CONFERENCE

RISC-V简介

RISC-V催生出开源芯片趋势：做芯片领域的Linux



香山芯片微架构

“香山”高性能开源RISC-V处理器项目

2019 年，在中国科学院支持下，由中国科学院计算技术研究所牵头发起，研发出性能国际领先的开源高性能RISC-V处理器核“香山”。

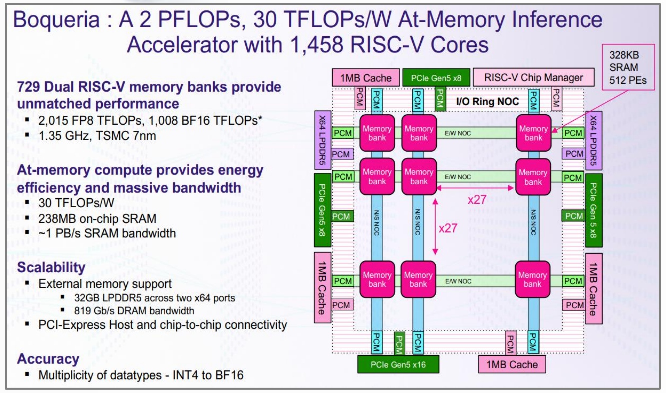
GitHub 上获得超过 2500 个星标（Star），形成超过 277 个分支（Fork），成为国际上最受关注的开源硬件项目之一， 得到国内外企业的积极支持。

2021年12月，18 家行业领军企业和国内顶尖科研单位联合发起开源芯片创新联合体——北京开源芯片研究院，将围绕“香山” 进一步联合开发，形成示范应用，加速 RISC-V 生态建设。

RISC-V处理器在云计算领域的应用前景

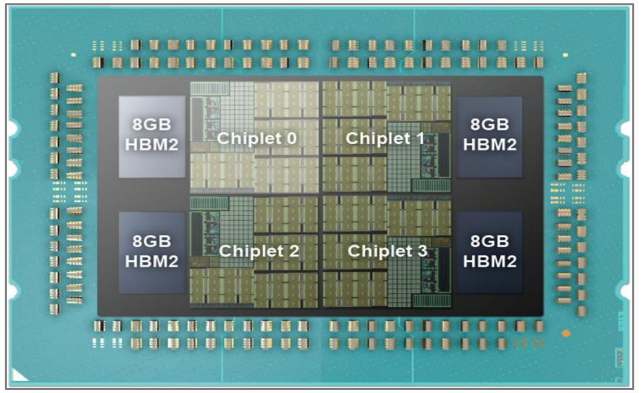
RISC-V数据中心加速器：面向AI、视频编解码、科学计算等

用于计算主核



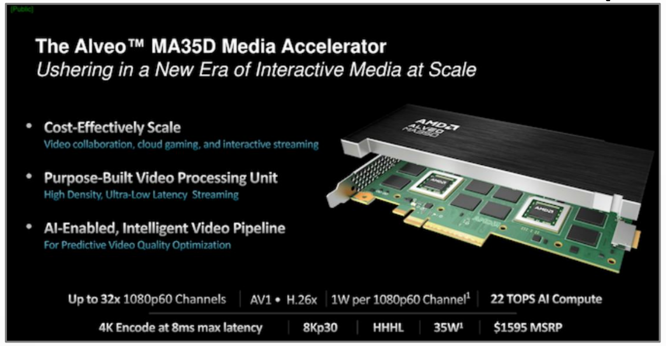
Untether AI speedAI240 1458颗RISC-V核 AI推理加速（2000TFLOPs）

Esperanto ET-SoC-1 1000颗RISC-V核 深度学习推荐系统加速器（200TOPS）

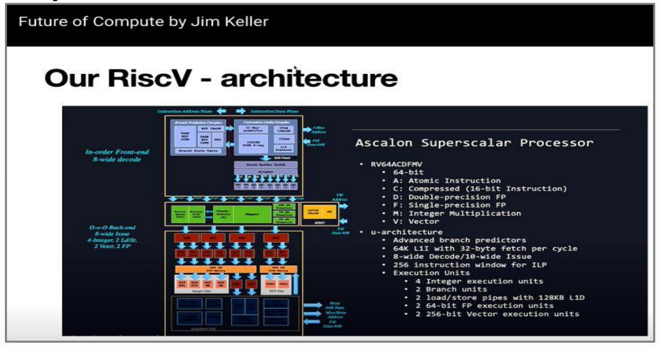


ETH Manticore 4096颗RISC-V核 科学计算浮点数计算加速器

用于控制面



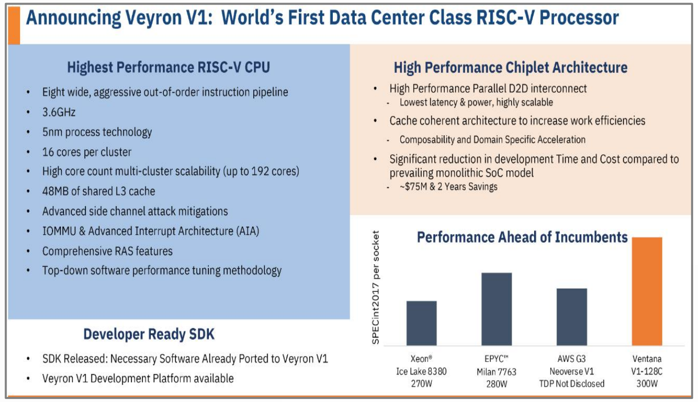
AMD Alveo MA35D 媒体加速器和视频编码卡（VPU包含4 RISC-V核）



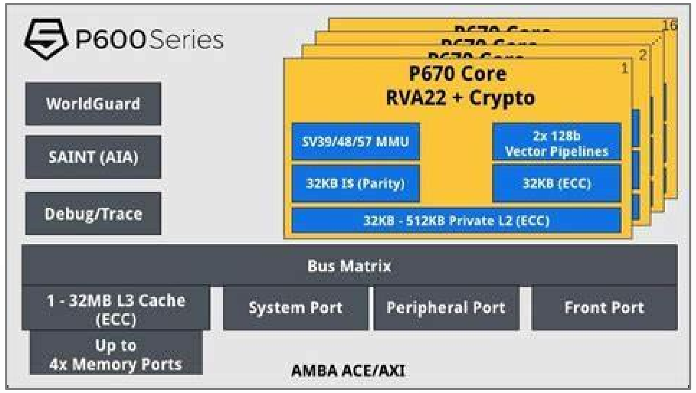
Tenstorrent Ascalcon 基于RISC-V的AI加速器控制核

RISC-V处理器在云计算领域的应用前景

RISC-V数据中心服务器：美国Ventana性能最高，支持虚拟化，可对标亚马逊云Graviton 3

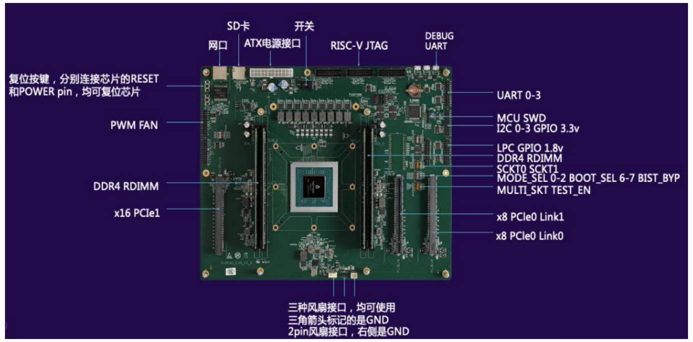


Ventana Veyron 最高192核，3.6GHz
(对标ARM Neoverse V系列，性能接近
亚马逊云Graviton 3的2倍)



SiFive P670 3.4GHz，12分 SPEC2k6/GHz
（对标ARM Cortex A78）

赛昉科技 昉天枢 2GHz, 9分SPEC2k6/GHz
（对标ARM Cortex A76）



算能科技 SG2042 64核RISC-V服务器（基于平头哥玄铁C910）

RISC-V 走向云计算已经进展到哪一步了？

GOTC

指令集设计和高性能芯片研发	服务器等整机设备研发	云计算软件适配及应用试点	大规模应用普及
进展 ✓ **指令集持续完善：** RISC-V基金会2021年成立数据中心/云计算等SIG，完善RISC-V指令集。 ✓ **高性能芯片涌现：** 国内外先后发布多款高性能RISC-V芯片，针对服务器、AI加速、科学计算等场景。	**进展** ✓ **服务器整机发布：** 国外发布RISC-V高性能服务器，对标AWS自研ARM服务器。国内发布64核RISC-V CPU，并发布2U服务器。	**进展** ✓ **全球开源社区积极适配RISC-V：** Linux、Debian、Ubuntu、openEuler等。 ✓ **专用领域应用探索：** 国内外探索RISC-V在人工智能、HPC、边缘云场景中的应用。	……

RISC-V云计算软件开源现状

云计算开源软件RISC-V适配进展如何？

操作系统	编程语言	虚拟机	数据库	云原生
云网络	微服务	消息队列	云存储	网络安全
流媒体	大数据	人工智能	数据分析	可信计算
边缘计算	Serverless	游戏	电信	科学计算

......

RISC-V云计算软件开源现状

GOTC

RISC-V云计算开源软件供应链名录RVChain：

该项目针对支持RISC-V指令集的开源云计算软件提供分类汇总名录，旨在推动RISC-V云计算生态建设。

RISC-V云计算开源软件供应链-2023年版（当前统计：939个项目）

*注意：统计尚不完全，欢迎提PR进行增加、修改

序号	名称	一级分类	二级分类	开源项目地址	Upstream是否支持RISC-V	RVChain仓库是否支持
1	OpenEuler	操作系统		https://gitee.com/openeuler/kernel	支持	支持
2	OpenAnolis	操作系统		https://gitee.com/openanolis/riscv-cloud-kernel	支持	支持
3	OpenCloudOS	操作系统		https://gitee.com/OpenCloudOS/OpenCloudOS-Kernel	支持	支持
4	Ubuntu	操作系统		https://ubuntu.com/download/risc-v	支持	支持
5	Debian	操作系统		https://www.debian.org/distrib/	支持	支持
6	Fedora	操作系统		https://fedoraproject.org/wiki/Architectures/RISC-V/Installing	支持	支持
7	Arch Linux	操作系统		https://github.com/archlinux/linux/tree/master/arch/riscv	支持	支持
8	OpenSUSE	操作系统		https://github.com/openSUSE/kernel/tree/master/arch/riscv	支持	支持
9	Python	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/python/	支持	支持
10	GCC (C/C++)	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/riscv-collab/riscv-gnu-toolchain	支持	支持
11	LLVM/Clang (C/C++)	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/llvm/llvm-project	支持	支持
12	OpenJDK (Java)	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/openjdk/jdk	支持	支持
13	Node.js (JavaScript，TypeScript)	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/nodejs	支持	支持
14	V8 (JavaScript, TypeScript)	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/v8/v8	支持	支持
15	Deno (JavaScript, TypeScript)	编程语言/编译器/运行时				
16	R	编程语言/编译器/运行时				
17	PHP	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/php	支持	支持
18	Golang	编程语言/编译器/运行时		https://github.com/golang	支持	支持
19	Kotlin	编程语言/编译器/运行时				
20	Shell	编程语言/编译器/运行时			支持	支持

全球开源技术峰会

THE GLOBAL OPENSOURCE TECHNOLOGY CONFERENCE

开源地址：https://gitee.com/risc-v-cloud/rvchain

RISC-V云计算软件开源现状

操作系统适配情况：主流服务器操作系统均已支持。

openEuler	支持
OpenAnolis	支持
OpenCloudOS	支持
ubuntu	支持
archlinux	支持
openSUSE	支持
debian	支持
fedora	支持

RISC-V云计算软件开源现状

操作系统适配情况：国产操作系统在第一梯队，openEuler在支持RISC-V方面，已进入世界先进行列。

2020.06

在中科院软件所的镜像仓库发布了第一版rootfs和kernel镜像

2020.08

在OBS构建系统开始构建openEuler RISC-V软件包

2020.09

在华为全联接（HC）2020大会上发布了openEuler RISC-V，国内首发RISC-V版Linux

2020.10

中科院成功移植openEuler RISC-V到果壳（nutshell）处理器

2020.11

在openEuler镜像仓库发布第二版rootfs和kernel镜像，可以在qemu中启动镜像，体验openEuler RISC-V移植版

2021.03

openEuler RISC-V使能runc容器

2021.07

openEuler RISC-V版支持全志D1 RISC-V单板计算机

2021.08

openEuler RISC-V使能xfce桌面

2022.03

openEuler RISC-V 22.03版发布

2022.05

openEuler RISC-V版支持赛昉科技VisionFive RISC-V单板计算机

2022.08

openEuler RISC-V版支持Chromium浏览器

2022.08

openEuler RISC-V版支持Chromium 浏览器

2023.04

- openEuler RISC-V版成功适配算能科技RISC-V服务器
- openEuler RISC-V 23.03版发布

openEuler操作系统RISC-V适配里程碑

全球开源技术峰会

THE GLOBAL OPENSOURCE TECHNOLOGY CONFERENCE

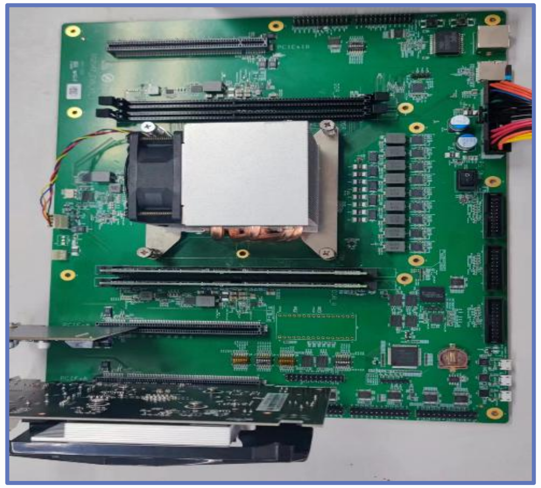
RISC-V云计算软件开源现状

操作系统适配情况：国产操作系统在第一梯队，openEuler在支持RISC-V方面，已进入世界先进行列。

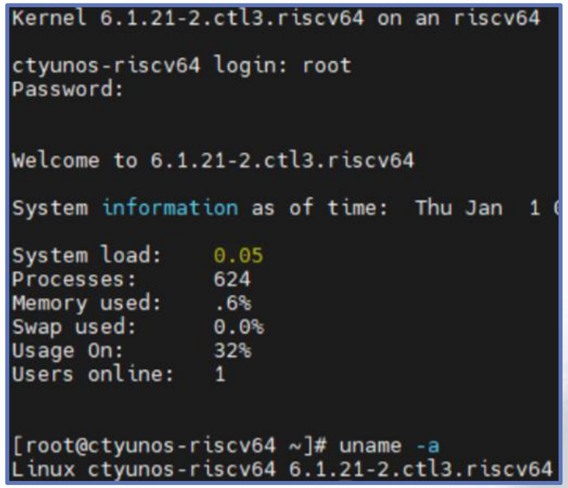
首个 运营商云HostOS的RISC-V适配	4100+ 成功编译内核及系统软件包数量	最新硬件 国内唯一RISC-V硬件服务器

天翼云CTyunOS成功适配RISC-V

- 中国电信研究院联合天翼云公司、中科院PLCT实验室，完成CTyunOS RISC-V适配，并在国内首台RISC-V服务器板卡成功运行。



算能科技SG2042
RISC-V服务器开发板



CTyunOS RISC-V版在
RISC-V服务器运行成功界面

RISC-V云计算软件开源现状

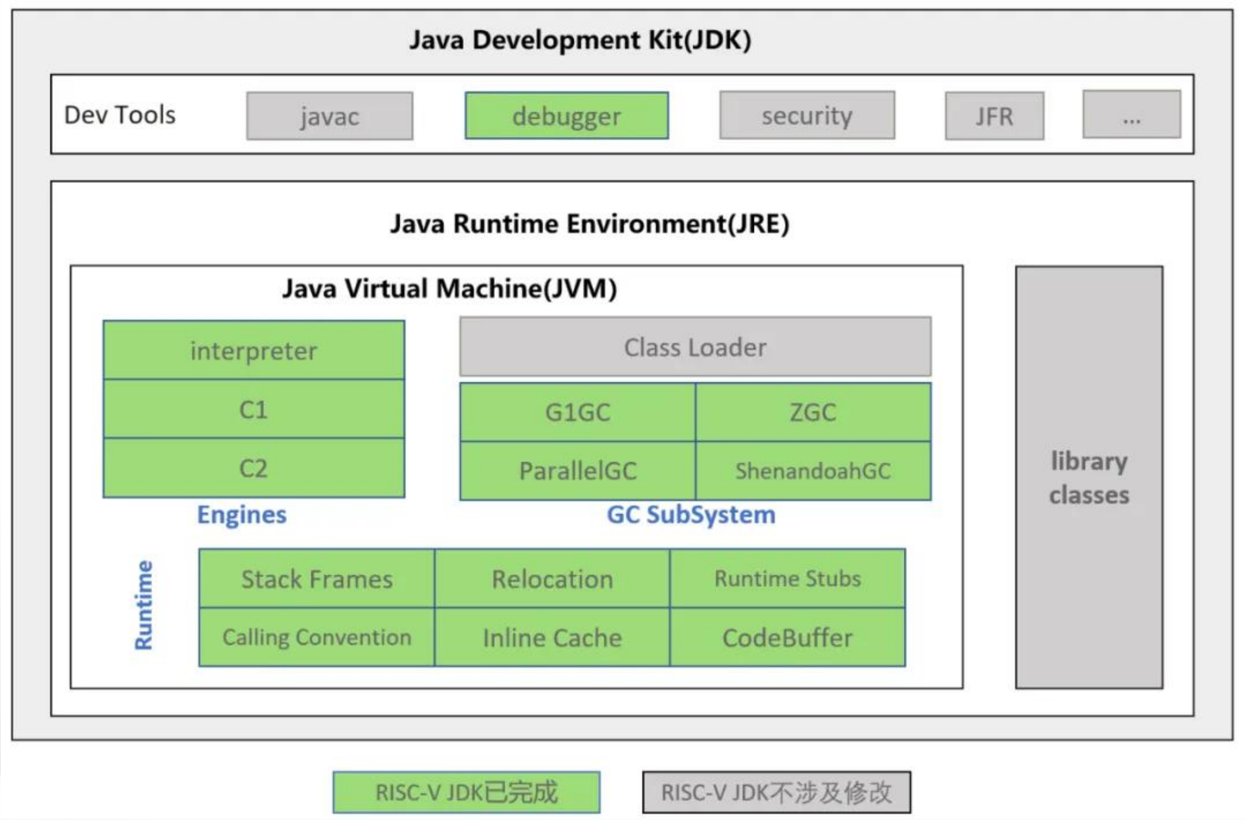
编程语言适配情况：主流编程语言均已支持。

编程语言/编译器/运行时	是否支持RISC-V
LLVM/Clang (C/C++)	支持
OpenJDK (Java)	支持
Node.js (JavaScript，TypeScript)	支持
V8 (JavaScript, TypeScript)	支持
PHP	支持
Golang	支持
Shell	支持
Ruby	支持
Lua	支持
Dart	支持
Scala	支持
Julia	支持
Rust	支持
Perl	支持
Erlang	支持
Kotlin	不支持
R	不支持

RISC-V云计算软件开源现状

编程语言适配情况：主流编程语言均已支持。

RISC-V port正式合入OpenJDK主线。



RISC-V port 涉及的模块

Subset	Name	Implies
Base ISA		
Integer	I	
Reduced Integer	E	
Standard Unprivileged Extensions		
Integer Multiplication and Division	M	
Atomics	A	
Single-Precision Floating-Point	F	Zicsr
Double-Precision Floating-Point	D	F
General	G	IMADZifencei
Quad-Precision Floating-Point	Q	D
Decimal Floating-Point	L	
16-bit Compressed Instructions	C	
Bit Manipulation	B	
Dynamic Languages	J	
Transactional Memory	T	
Packed-SIMD Extensions	P	
Vector Extensions	V	
User-Level Interrupts	N	
Control and Status Register Access	Zicsr	
Instruction-Fetch Fence	Zifencei	
Misaligned Atomics	Zam	A
Total Store Ordering	Ztso	
Standard Supervisor-Level Extensions		
Supervisor-level extension "def"	Sdef	
Standard Hypervisor-Level Extensions		
Hypervisor-level extension "ghi"	Hghi	
Standard Machine-Level Extensions		
Machine-level extension "jkl"	Zxmjkl	
Non-Standard Extensions		
Non-standard extension "mno"	Xmno	

OpenJDK支持的RISC-V指令集

RISC-V云计算软件开源现状

应用软件适配情况：起步阶段，部分基础软件已支持。

虚拟机

QEMU

KVM

云存储

SPDK

Ceph

云网络

DPDK

云原生

Docker

Podman

Containerd

etcd

WasmEdge

数据库

MySQL

Redis

负载均衡

Nginx

后端

SpringBoot

Spring Framework

大数据

Hadoop

RISC-V云计算软件开源现状

应用软件适配情况：起步阶段，部分基础软件正在适配中。

中科院软件所推动OpenStack适配

- 中科院软件所PLCT实验室Tarsier团队基于openEuler操作系统RISC-V版进行OpenStack编译适配。

openstack-java-sdk		succeeded
openstack-keystone		succeeded
openstack-kolla-ansible		succeeded
openstack-macros		succeeded
openstack-neutron		succeeded
openstack-nova		succeeded
openstack-placement		succeeded
openstack-swift		succeeded
openstack-tempest		succeeded
openstack-trove		succeeded
python-openstackclient		succeeded
python-openstackdocstheme		succeeded
python-openstacksdk		succeeded
python-storpool.spopenstack		succeeded

Open Build Service上OpenStack编译进展界面

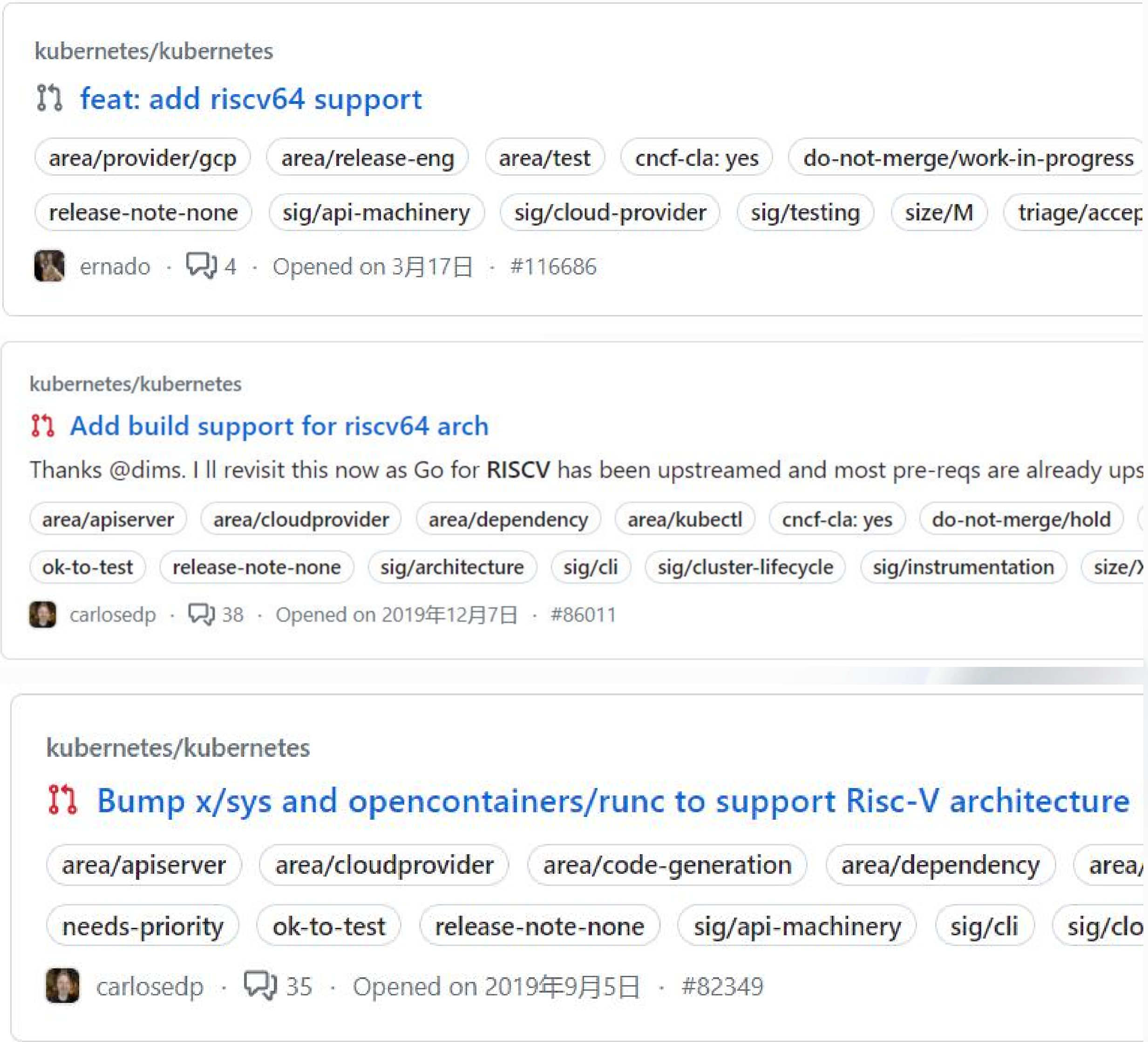
RISC-V云计算软件开源现状

GOTC

应用软件适配情况：起步阶段，部分基础软件正在适配中。

Kubernetes社区开发者多次提交RISC-V支持代码，但均未被merge

RISC-V尚不是k8s社区Tier-1 Arch



中国电信研究院探索：RISC-V开源软件

中国电信研究院自研RISC-V云计算轻量级虚拟机TeleVM

- **轻量级虚拟机诞生背景：**

　　容器云、Serverless等应用不断发展，**当前容器轻量，但不够安全；虚拟机安全，但不够轻量。**目前KVM和 QEMU 一起构成了当前业界主流的开源虚拟机方案，其中KVM位于 Linux 内核，将硬件虚拟化的功能抽象成接口交给用户空间使用，QEMU则位于用户空间，利用内核接口来管控虚拟机。然而：

  - **QEMU代码过重：**目前 QEMU已经有157万代码，存在臃肿、响应慢、占用资源多等问题。
  - **QEMU安全问题：**QEMU的CVE问题，其中有将近一半是因为内存问题导致的。

- **轻量级虚拟机优势：**

　　精简了传统虚拟机（QEMU+KVM），既能**保障容器安全**，又具备**轻量化、高效能**的特点。

- **典型轻量级虚拟机开源项目**
  - Firecracker（AWS）
  - Stratovirt（OpenEuler）

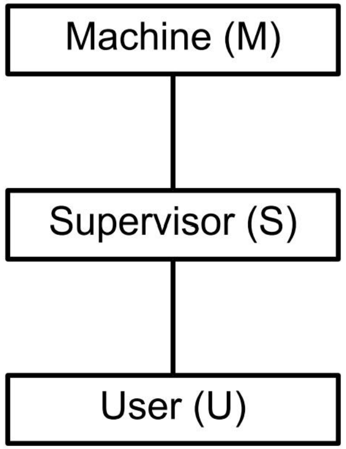
中国电信研究院探索：RISC-V开源软件

中国电信研究院自研RISC-V云计算轻量级虚拟机TeleVM

◻ RISC-V 虚拟化扩展：

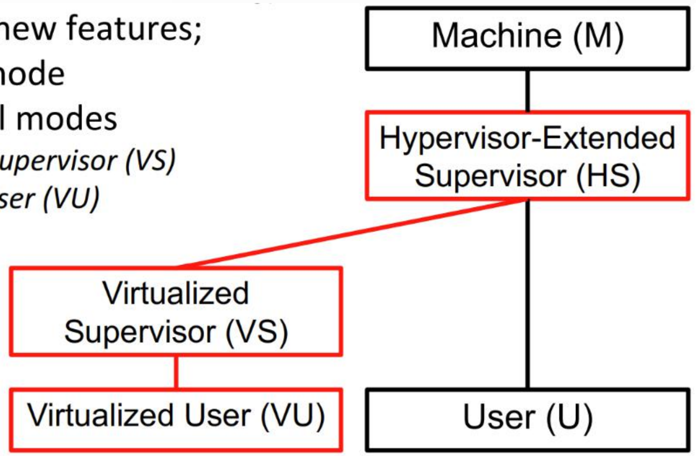
- 支持Guest OS能够无修改地运行在Type-1（如VMWare ESX Server），Type-2（如KVM）和混杂模式的虚拟机上。
- 支持嵌套虚拟化，在虚拟机内运行虚拟机。
- 虚拟化带来的性能损失和实现成本不应该有太大的变化。

- Three privilege modes:
  - Machine (M-mode)
  - Supervisor (S-mode)
  - User (U-mode)
- Supported combinations:
  - M (simple embedded systems)
  - M, U (embedded systems w/protection)
  - M, S, U (Unix systems)



扩展

- S-mode gains new features; becomes HS-mode
- Two additional modes
  - *Virtualized Supervisor (VS)*
  - *Virtualized User (VU)*

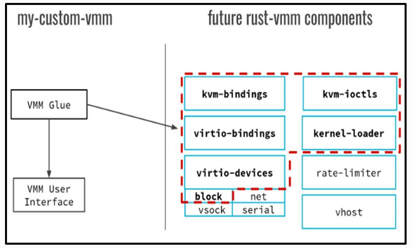


Virtualization Mode (V)	Nominal Privilege	Abbreviation	Name	Two-Stage Translation
0	U	U-mode	User mode	Off
0	S	HS-mode	Hypervisor-extended supervisor mode	Off
0	M	M-mode	Machine mode	Off
1	U	VU-mode	Virtual user mode	On
1	S	VS-mode	Virtual supervisor mode	On

中国电信研究院探索：RISC-V开源软件

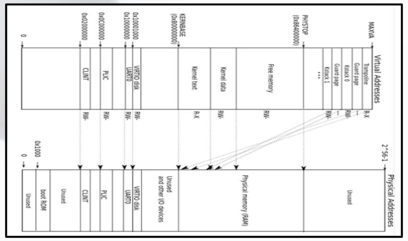
中国电信研究院自研RISC-V云计算轻量级虚拟机TeleVM

- Rust-VMM工具链适配
- RISC-V CPU虚拟化适配
- RISC-V 内存虚拟化适配
- RISC-V BootLoader适配
- RISC-V 中断适配（用户态）
- RISC-V I/O虚拟化适配

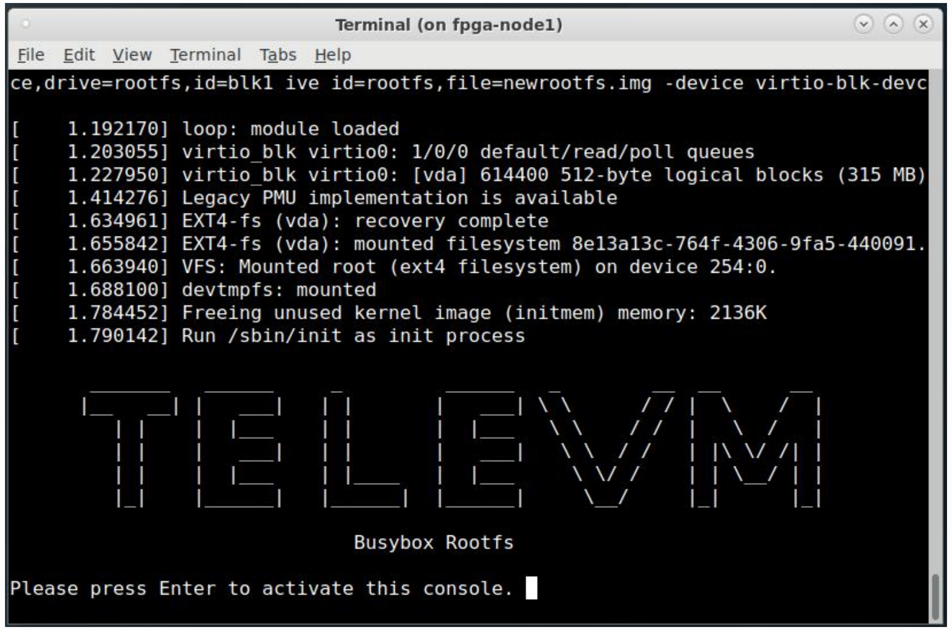


Rust-VMM源码适配

vCPU寄存器及指令适配

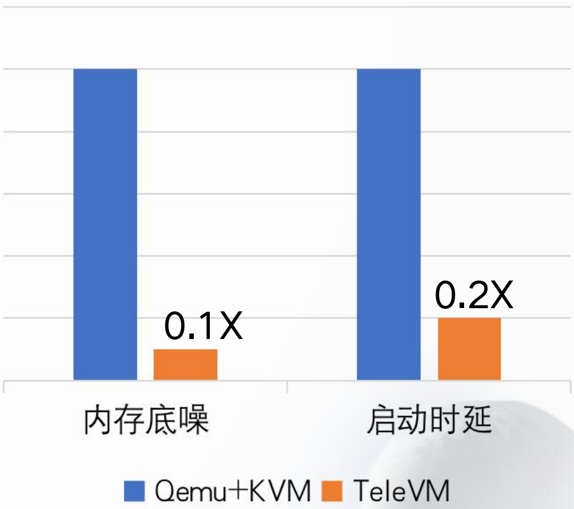


内存虚拟化适配



在合作伙伴RISC-V CPU IP核上验证成功

性能对比



虚拟化关键指标性能对比

中国电信研究院探索：RISC-V开源软件

后续将持续贡献代码至开源社区。

中国电信研究院在开源社区主导RISC-V支持特性立项

中国电信研究院推动成立riscv代码分支，正在推送代码合入

中国电信研究院探索：RISC-V边缘云整体解决方案规划

GOTC

RISC-V边缘计算盒子TeleBox和边缘AI一体机TeleEdge

边缘计算盒子TeleBox（基础版）

简介

基于国产RISC-V核心板，自研外设底板和软件栈。

能力

视频编解码： 硬件编解码

AI推理： 多种AI推理引擎

AI算力： 内置NPU算力

边缘计算盒子TeleBox Pro（高级版）

简介

基于国产RISC-V核心板、边缘AI模组，自研外设底板和软件栈。

能力

视频编解码： 硬件编解码

AI推理： 多种AI推理引擎

AI算力： 边缘AI模组

边缘AI一体机TeleEdge

简介

基于国产RISC-V服务器板卡、边缘服务器AI卡，自研定制软件栈。

能力

视频编解码： 硬件编解码

AI推理： 多种AI推理引擎

AI算力： 服务器级AI加速卡

中国电信研究院探索：RISC-V边缘云整体解决方案规划

RISC-V边缘云开源软件适配规划

行业应用（AI视觉处理、数据采集分析、智能问答等）

云边协同		轻量虚拟化		AI推理		LMSDK（大模型工具包）	
软件类型	适配开源软件	软件类型	适配开源软件	软件类型	适配开源软件	软件类型	适配开源软件
云原生边缘计算	KubeEdge	容器虚拟化	docker	AI数据处理依赖库	OpenCV等	大模型连接客户端	LangChain
		Wasm虚拟化	WasmEdgeRuntime	AI推理引擎	NCNN、TensorFlow Lite等	大模型辅助边缘应用代码开发工具	EdgePrompter（自研）
……		……		……		……	

CTyunOS RVKit（编译器、中间件等工具链，加速应用迁移）

CTyunOS RISC-V版

THANKS