



Embedded OS in China
国产嵌入式操作系统产业论坛

KYLINSOFT
麒麟软件

嵌入式虚拟化技术探索及实践

世界级操作系统中国品牌

kylinos.cn

麒麟软件 张云飞

目

录

CONTENTS

01 麒麟软件工业OS

02 麒麟软件嵌入式虚拟化产品

03 嵌入式虚拟化技术探索

04 嵌入式虚拟化应用案例



01 麒麟软件工业OS

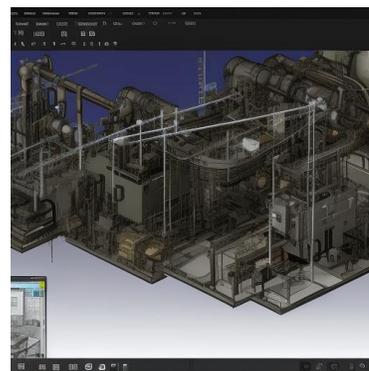


银河麒麟高级服务器操作系统（工业版）



工业生产上位机场景

面向工业领域DCS/SCADA/SIS/PCS等工业控制系统上位机、服务器，提供高效图形显示、高效数据处理、可靠人机交互、RAS增强的计算工业服务器操作系统产品，保障工业控制系统可靠、稳定运行。



工业研发设计场景

面向工业领域MBSE/EDA/CAD/CAE/CAM/CAPP等大型工业工具软件，提供异构算力支持、高精度计算、高效图形渲染、高性能并行计算工业服务器操作系统产品，保障工业装备研制安全。

银河麒麟桌面操作系统（工业版）

工业数采、控制、监控、HMI场景

面向工业领域工业数采、控制、监控及HMI场景，如PLC、CNC、GMC、IPC、XPU、机具等，提供实时可靠、安全可信、工业协议支持的工业桌面/嵌入式操作系统产品，满足工业现场需求。



产品路线

面向能源、电力、制造等工业场景需求，依托银河麒麟通用操作系统能力，构建具备工业场景能力的可信、实时可靠、泛在互联、绿色智能的工业服务器、桌面操作系统。

银河麒麟工业操作系统（服务器、桌面）

可靠增强

RAS能力、故障隔离恢复能力、原子更新能力、高效诊断观测、运维管理

实时增强

打造实时虚拟化、实时补丁能力，实现方案级强实时能力

工业互联

打造工业场景AI软件栈支持能力；打造工业现场、工业有线、工业无线、物联网协议支撑能力

硬件兼容

国产CPU芯片、显卡、板卡、外设、终端、工控机、服务器、工作站等工业部件与设备的深度适配

高效场景应用

高性能计算、桌面UI优化、SDK、灵活裁剪与定制、场景垂直优化

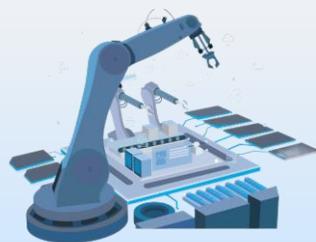
基础特性增强

工业特性补充

特定场景优化

 银河麒麟通用操作系统（服务器、桌面）

银河麒麟桌面操作系统（工业版）



银河麒麟桌面操作系统（工业版）是什么？

银河麒麟桌面操作系统（工业版）是面向工业控制、数采、显示等场景的安全、实时、可靠桌面操作系统，支持X86、ARM、LoongArch、RISC-V架构，可满足工控机、机具、HMI等工业场景对操作系统安全可信、实时可靠的需求。

01

基础特性

内核
性能
安全

02

生态广泛

CPU
桥片
GPU

03

实时可靠

实时性增强
掉电保护、故障隔离

04

工业互联

物联网、工业互联网
协议支持

05

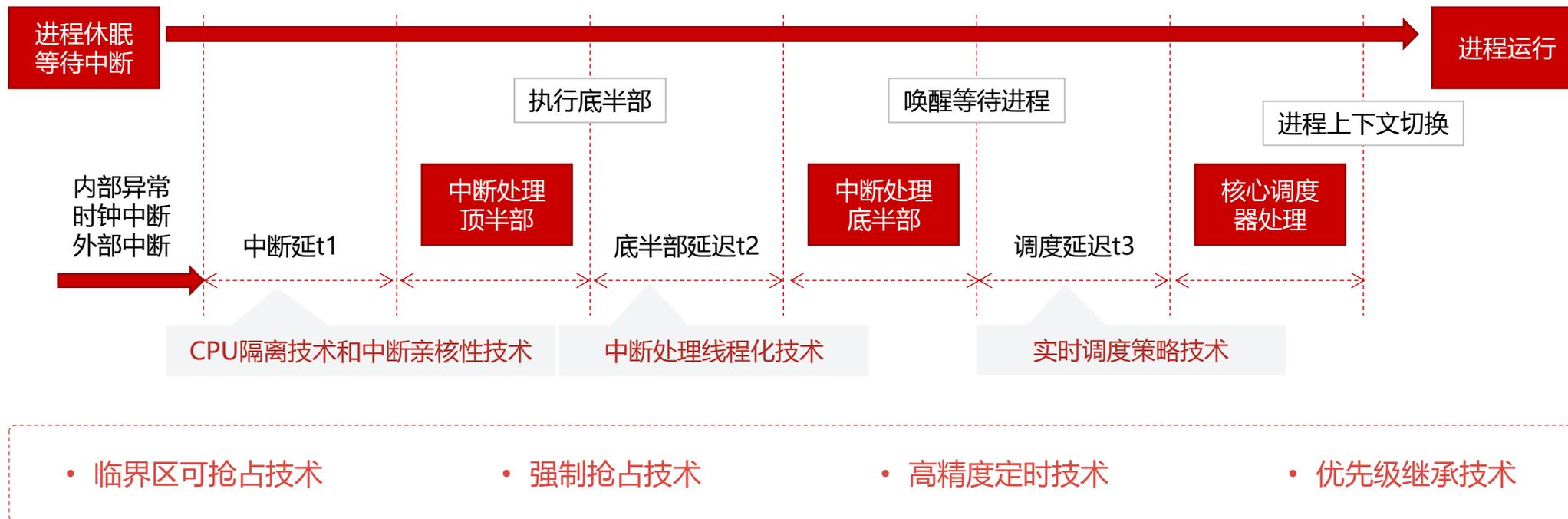
高效场景应用

灵活定制
轻量UI
分域虚拟化

实时性增强-Linux内核实时增强技术

Linux实时性改造：基于内核可抢占技术、中断处理线程化技术、高精度定时技术和实时调度技术等，提高任务的抢占和调度能力，使关键性任务的调度延迟从毫秒级提升到微秒级。

Linux内核实时增强



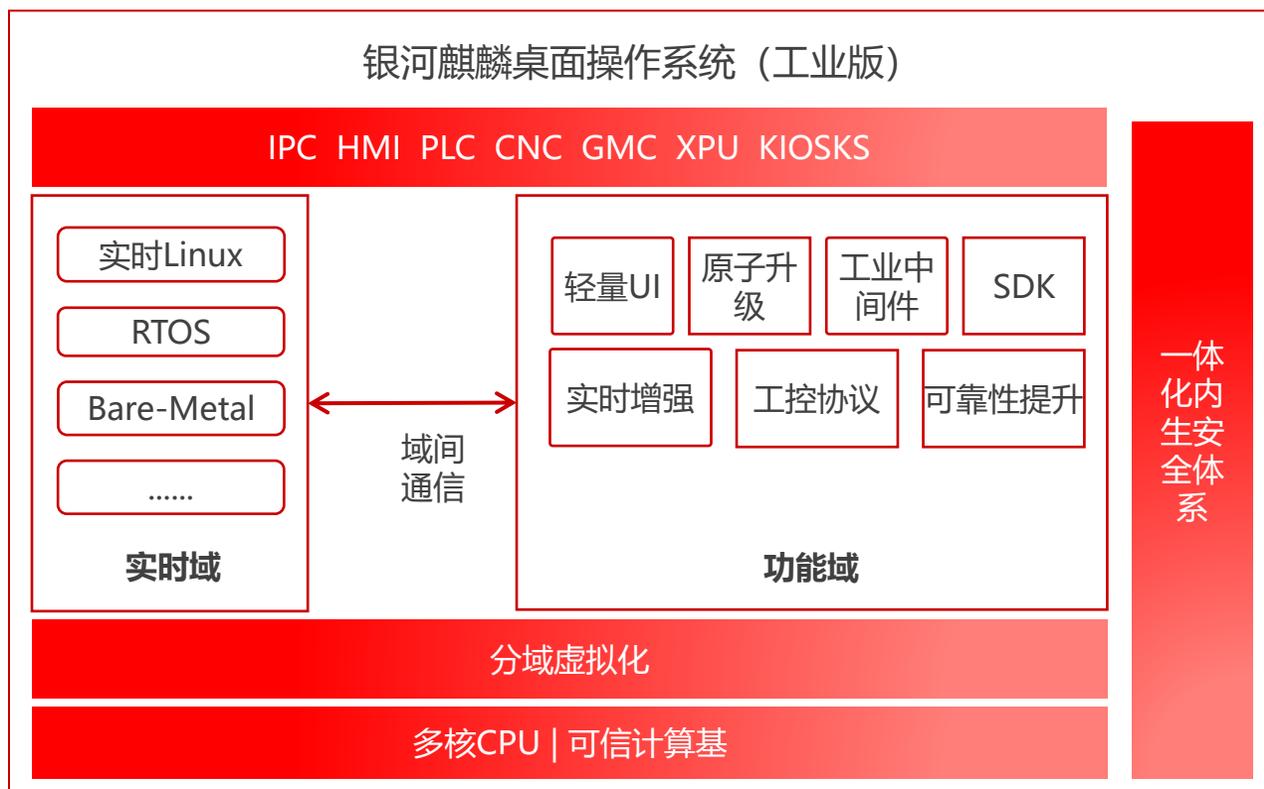
高效场景应用-轻量UI技术

基于银河麒麟桌面操作系UKUI，通过功能裁剪、资源精简、参数和代码调优等方式，构建轻量桌面环境，提升桌面启动及响应速度，降低CPU、内存等资源占用量，在保证使用体验一致性的前提下，系统可以在工控芯片上更流畅的运行，即保持了通用桌面的体验，又满足了工业控制场景下桌面环境的运行要求



高效场景应用-分域虚拟化技术

采用“分域虚拟化+多域隔离”的架构，通过实时和非实时操作系统的混合部署方式，兼得Linux的生态和RTOS的实时能力，实现物联网及工业互联网应用的泛化支持。

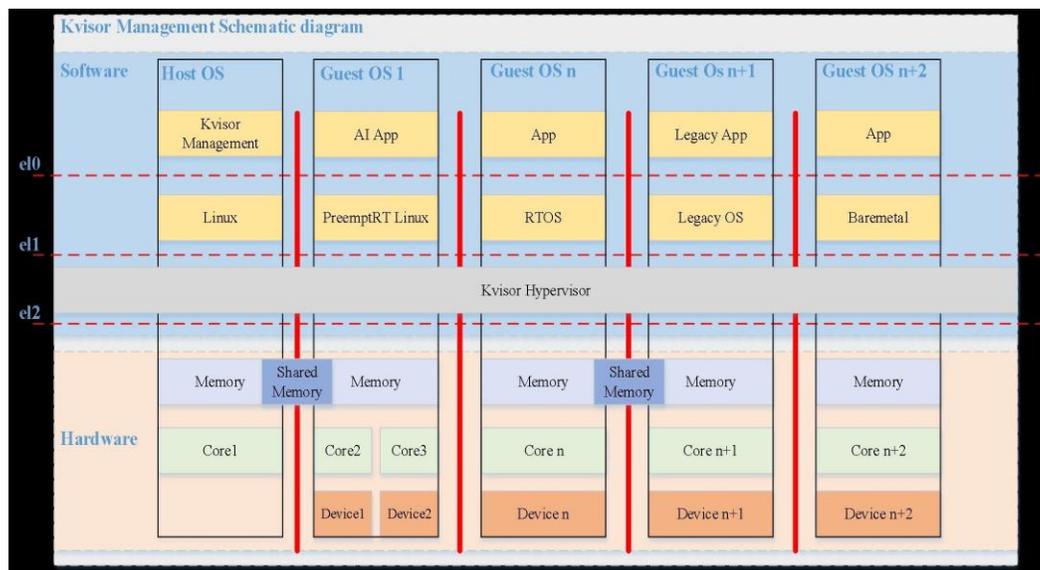


02 麒麟软件嵌入式虚拟化产品



麒麟软件嵌入式虚拟化产品

基于RUST语言实现嵌入式分域虚拟化Hypervisor--Kvisor。他是基于硬件虚拟化来实现的一个很薄的虚拟化层。以ARMv8为例，Kvisor运行在EL2异常级别。通过EL2层的更高管理权限来实现对客户机的控制。



硬件资源隔离

构建轻量级虚拟化层（Rust实现），对多核CPU以每个核为最小单元进行硬件资源的隔离并进行安全检查

功能虚拟化

实现了CPU虚拟化、内存虚拟化、IO虚拟化及中断虚拟化功能

资源分配

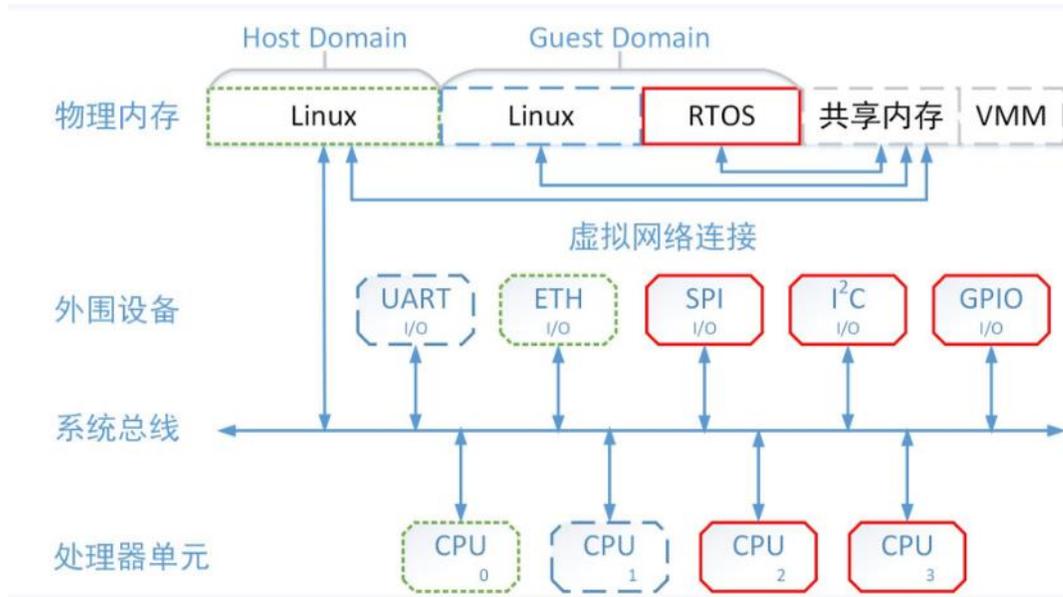
Kvisor的硬件分域虚拟化平台上，每个域可独立运行一个操作系统，各个域按需分配各种硬件资源

实时性能

低虚拟化损耗，丰富的RTOS系统支持

麒麟软件嵌入式虚拟化产品

依托分域虚拟化技术能力，实现硬件资源隔离，支持操作系统混合部署。具备低开销、高实时和易维护的特点。在Kvisor的硬件分区虚拟化平台上，每个分区可独立运行一个操作系统，各个分区按需分配各种硬件资源。CPU和IO设备在内的虚拟化资源可采用直通（passthrough）方式访问以保证实时性。



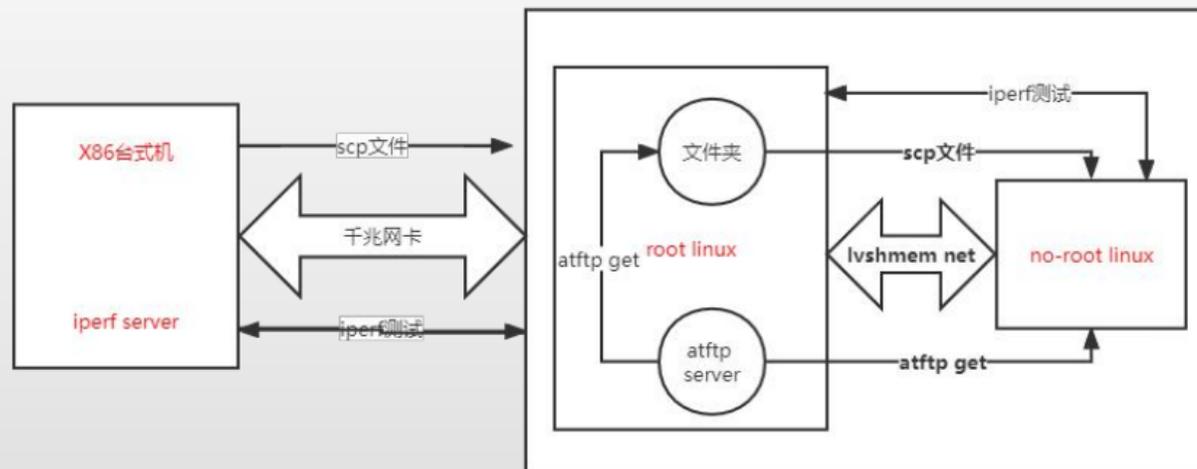
支持x86及ARM架构，支持PCI/PCIE/PCI bridge/ETH/I2C/CAN/SPI/UART等硬件资源的分域隔离。实时域支持 FreeRTOS、Zephyr、RTThread等RTOS。

Kvisor分域管理示意图

Kvisor 架构图

共享内存混合部署通讯机制性能测试

测试环境		共享内存测试	千兆网卡测试
硬件	CPU	ARM Cortex-A72 1.5GHz (双核)	ARM Cortex-A72 1.5GHz (四核)
	内存	8GB LPDDR4	8GB LPDDR4
	网卡	虚拟网卡	千兆网卡
	RAM	256M	16G
	主频	1.5GHz	1.5GHz
软件	内核	kernel V-5.4.59	kernel V-5.4.59
	操作系统	Yocto-minimal	Yocto-minimal



树莓派4B

共享内存混合部署通讯机制性能测试(序)

网络测试	测试项	虚拟网卡 (64M)	Host linux千兆网卡
网络文件传输	atftp	2.04 MB/s	2.15 MB/s
	scp	24.5 MB/s	21.7 MB/s
单线程传输速率	iperf3	182 MB/s	76.8 MB/s
多线程传输速率	iperf3	191.2 MB/s	77.4 MB/s

文件读写测试		
	文件读写方式	文件读写速率
Host linux	block到block	18.8 MB/s
	block到RAM	50.1 MB/s
	RAM到RAM	53.1 MB/s
	RAM到block	19.2MB /s
Guest linux	RAM到RAM	47.8 MB/s

- 测试结论
网络传输性能优于千兆网卡

03 嵌入式虚拟化技术探索



静态隔离和动态调度

- 静态隔离的性能、安全可靠较好，所以工业场景很多情况下更适合静态隔离（成本不敏感，性能优先，持续性任务）。但这种方案的缺点是灵活性、可配置性较差，硬件共享实现困难，导致整个系统的资源利用率差。
- 动态调度可以调整虚拟机的资源分配，确保资源的较高利用。避免资源浪费，提高系统整体效率。例如在AI应用场景中，通过虚拟化技术，可以动态调整虚拟机的资源配置（如CPU、内存），以适应不同AI任务的计算需求，实现资源的最优利用。适合成本敏感，间歇性任务。

动态和静态相结合方案

- 动态调度+静态隔离相结合方案（非实时域动态调度，实时域静态绑定）



ARM下设备直通--内存

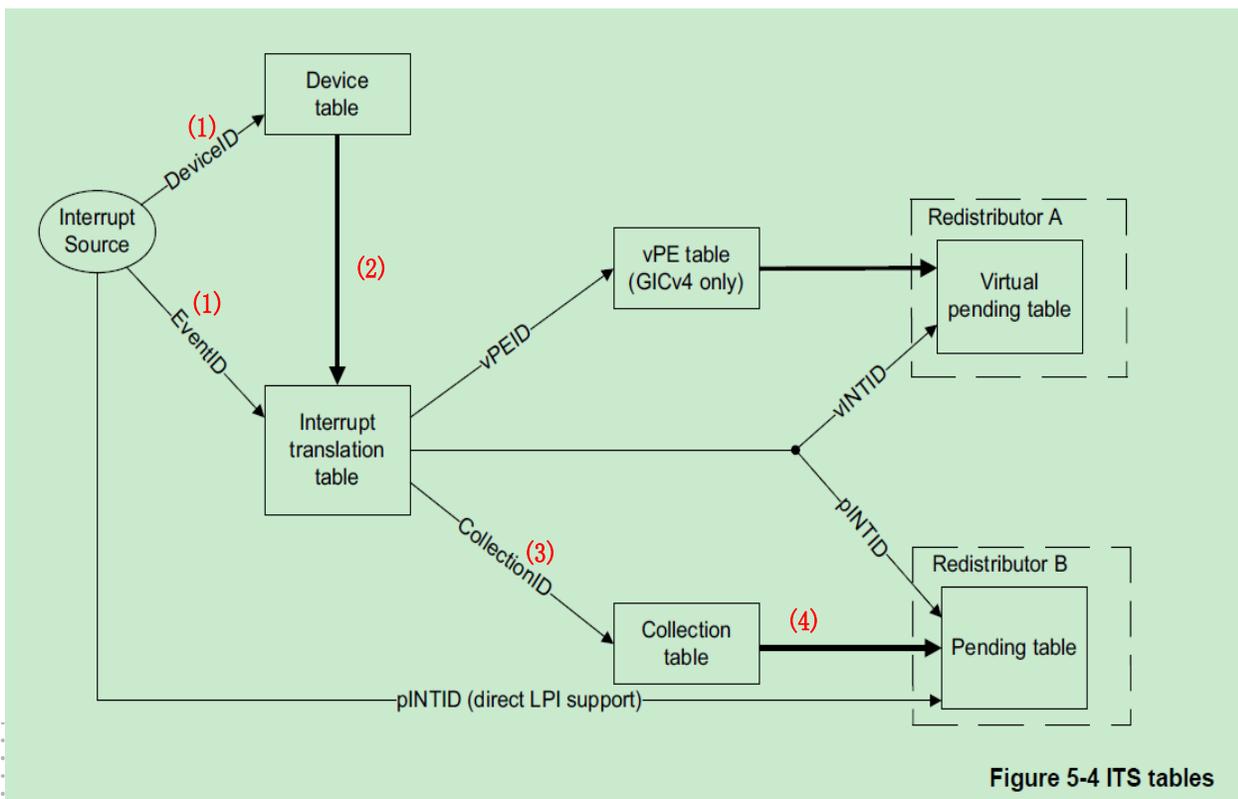
- 传统的虚拟化软件中，对ARM平台下的设备直通支持不够完善，尤其是pcie设备的直通功能。
- 无IOMMU嵌入式设备内存直通完善



ARM下设备直通--中断

PCIE设备中断直通

- INTX中断转换
- VIFO中断转发



ARM®
Generic Interrupt Controller
Architecture Specification

- MSI/MSI-X中断直通
- Hypervisor中维护客户机虚拟pci总线
- 为客户机生成虚拟ITS设备，逻辑映射ITS的三个表内容：
Device Table
Interrupt Translation tables
Collection Tables

虚拟化下调频功能

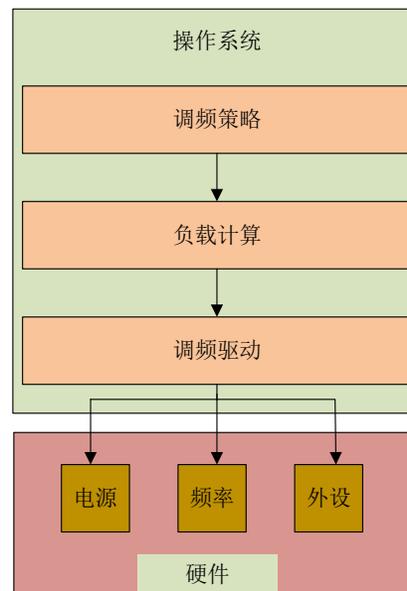
■ 虚拟化下调频存在问题：

- 负载计算错误
- 调频驱动实现

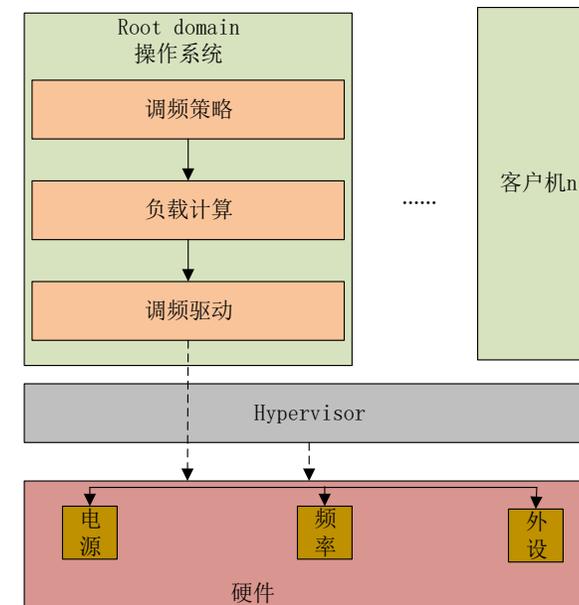
调频策略：

- Performance：保持最高频率以获取最佳性能。
- Powersave：使用最低频率以降低能耗。
- Ondemand：根据负载动态调整频率。

- 负载计算重定向
- 使用完整的host系统驱动



无虚拟化下
CPU调频



虚拟化下CPU
调频

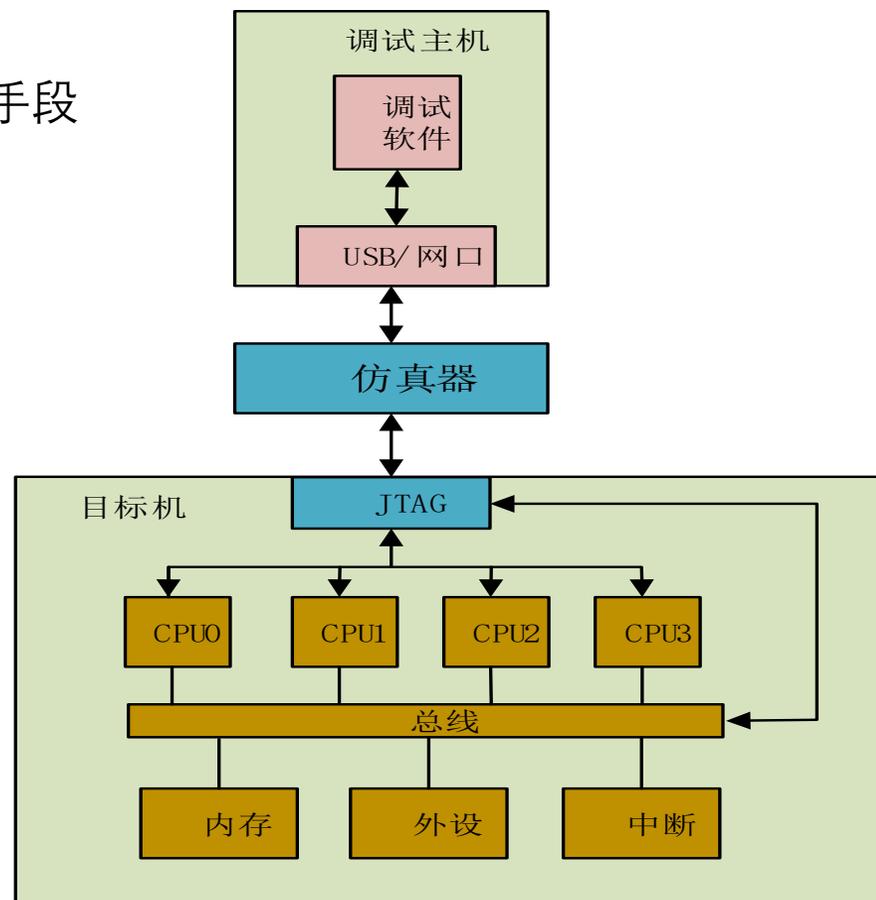
虚拟机内核（包括RTOS）调试

■ 客户机调试问题：

- 对于定制客户机内核崩溃（系统初始化早期阶段）无调试手段
- 没有系统日志输出

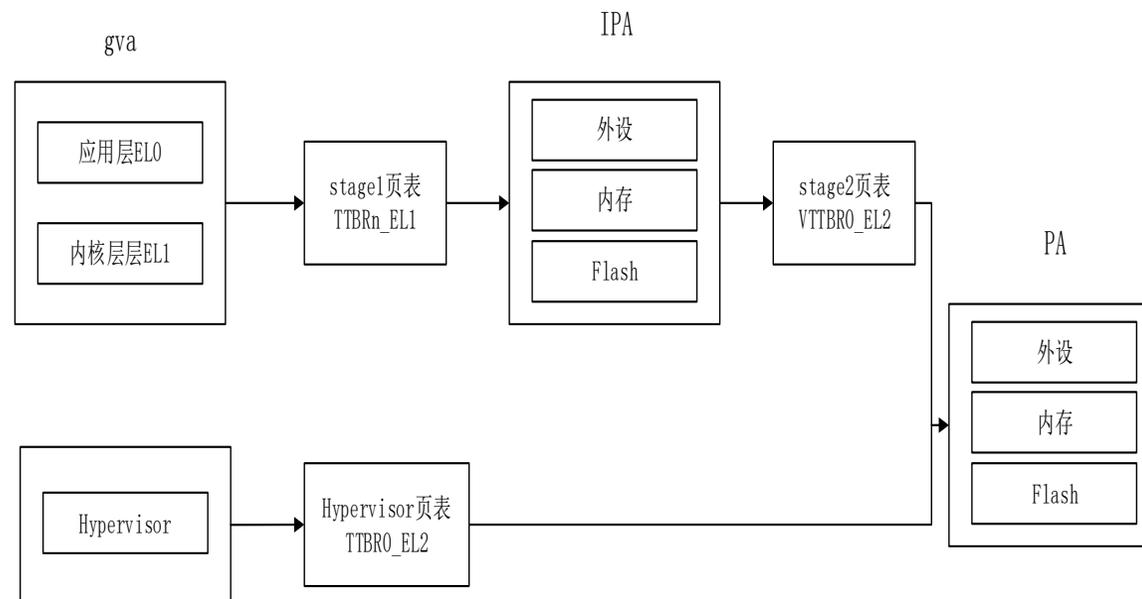
■ 解决方案：

- 纯软件方案（无trace32硬件）
- hypervisor监管和控制
- hypervisor信息采集



虚拟机内核（包括RTOS）调试

- 关键信息采集：
 - CPU通用寄存器
 - 系统控制寄存器
(包括mmu、cache、gic等硬件)
 - Hypervisor内部维护客户机状态数据结构
 - 客户机系统关键数据结构（如log buffer）
- 客户机页表反向查找



04 解决方案及应用案例



应用案例-电力通信ttu

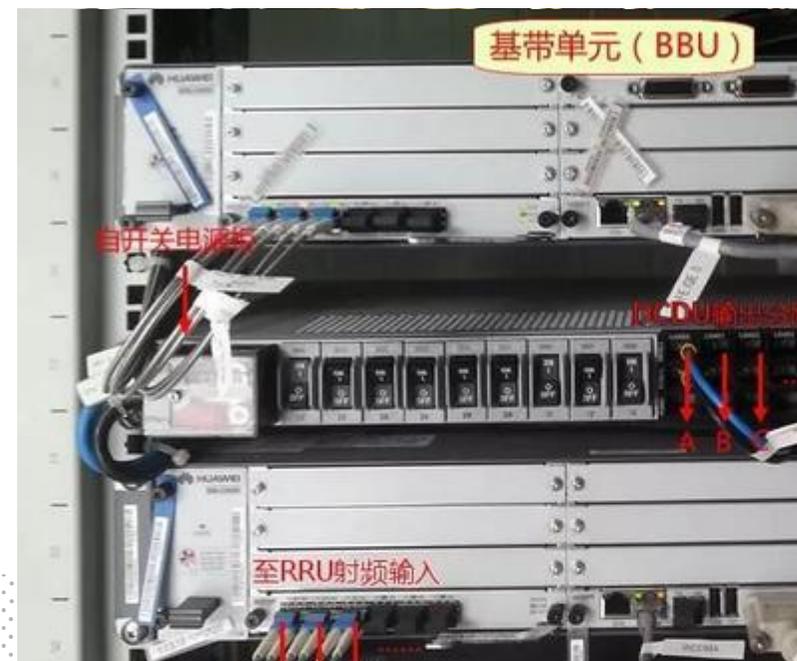
- 32路高速串口，波特率最高可达2M bps。32路高速串口由FPGA扩展板卡实现，板卡通过pcie接口与处理器相连，使用MSI-X中断。
- 传统方案：大量的IO操作和中断响应，导致系统效率降低，实时性不足。
- 虚拟化方案：将Linux系统和RTOS系统混合部署到SOC上并将系统分为功能域和实时域。功能域运行Linux系统，负责设备常规的非实时业务，实时域运行RTOS系统进行高速串口的采集。
 - RTOS系统：处理大量的串口数据（NAPI）
 - Linux系统：虚拟串口
 - 域间通信：将串口数据按照串口ID写到共享内存的对应通道。当共享内存通道中的数据达到一定阈值以后触发spi中断，通知Linux侧读取串口数据。



应用案例-基站冗余备份

- 基站冗余备份是移动通信系统中确保服务可靠性和连续性的关键技术
- 传统方案：双机热备，即采用两台或多台硬件设备，处于主备模式。主基站负责正常业务处理，备用基站在主基站出现故障时接管其任务。
- 嵌入式虚拟化技术：将基站单元分离为不同的虚拟机。在一个虚拟机出现问题时，可以快速切换到备份的虚拟机。
- 动态调度：在正常情况下，备用虚拟机没有太多的CPU负载。这时可以通过调度虚拟化为其分配较少的CPU和内存资源。只有发生主备切换时才会被调度更多的硬件资源。

5G基站建设全解，看完秒懂
<https://www.hongangu.com/afafaaagwe.html>



谢 谢