



突破单核性能瓶颈

打造RISC-V多核架构的高性能实时操作系统

熊谱翔

上海睿赛德电子科技有限公司

2025.7



RT-Thread嵌入式操作系统



RT-Thread嵌入式操作系统：丰富的实时软件生态环境

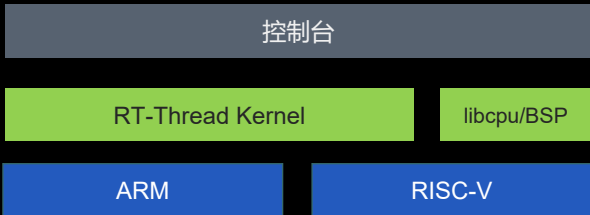
RT-Thread POSIX 实时操作系统

- 社区化、开源开放、中立的国产自主嵌入式操作系统;
- 诞生自2006年, 托管在github/gitee上, 11k github star, 在国内外具备活跃的开源社区;
- 支持丰富的POSIX API (完整PSE51), 部分PSE52/53/54 API, 部分Linux API兼容;
- 具备丰富的周边生态体系: 数千款芯片移植, 中文文档, RT-Thread Studio/Env工具, 软件包生态;

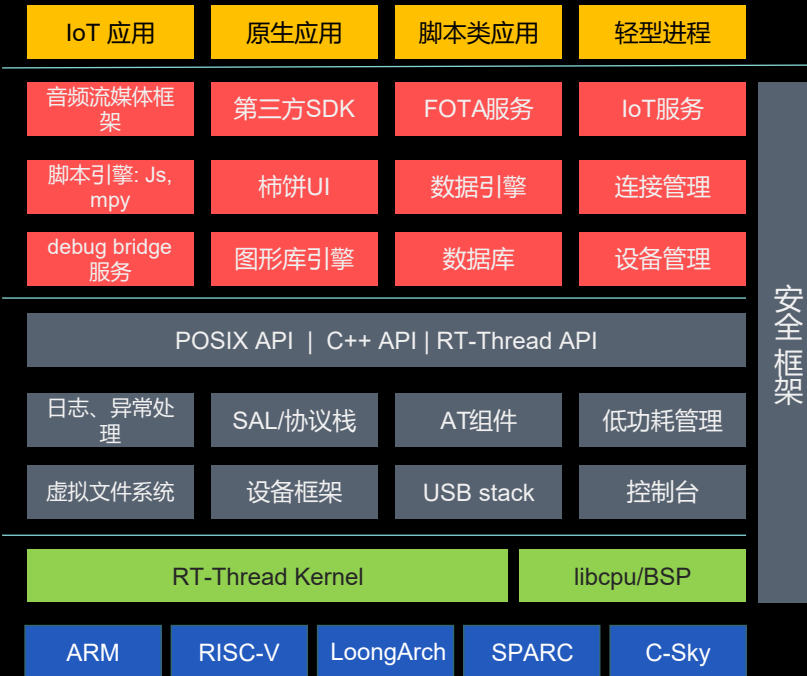
```

COM3 - PuTTY
RT-Thread Operating System
/ / / 5.2.0 build Jul 26 2024 11:50:11
2006 - 2024 Copyright by RT-Thread team
mah spa
thread pri status sp stack size max used left tick error tcb addr
-----
idle1 20 running 0x0000000c 0x00001000 14% 0x00000002 OK 0x20002028
idle0 31 ready 0x0000005c 0x00000400 13% 0x00000005 OK 0x20000b5c
main 10 suspend 0x000000d4 0x00000800 17% 0x00000013 EINTRPT 0x20001548
mah >

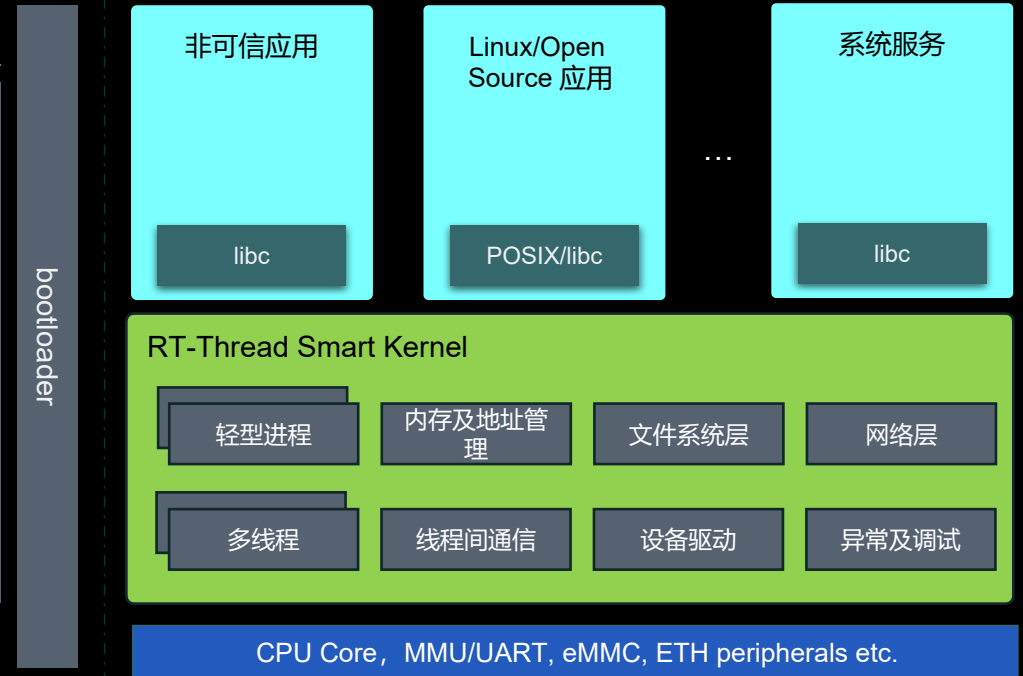
```



Nano版本



标准版版本



smart版本



RT-Thread嵌入式操作系统



对RISC-V架构的支持情况

IP核

T-Thread

芯来

SiFive

青稞

Andes

OpenHW

Others

BSP

算能

先辑/HPMicro

嘉楠

全志

Bouffalo Lab /博流

Espressif/乐鑫

中科蓝讯

WCH/沁恒

UltraRISC/超睿

生态周边

RISC-V RTOS教程

兆松工具链

RT-Thread Studio

VSCode RT-Smart扩展

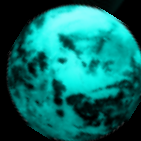
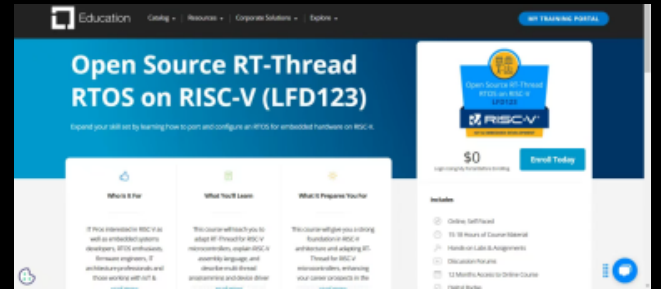
mlibc, 轻量级c库

会议...



最灵活的方式

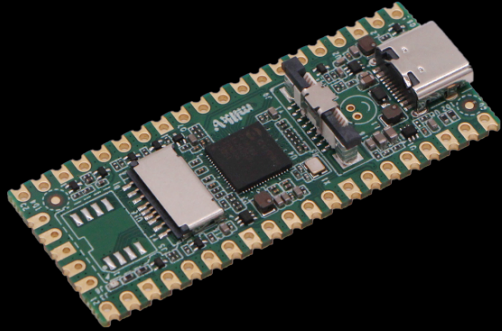
- 软件模拟执行, 支持相对齐全的指令扩展;
- 完备的外设驱动 <virtio驱动>;



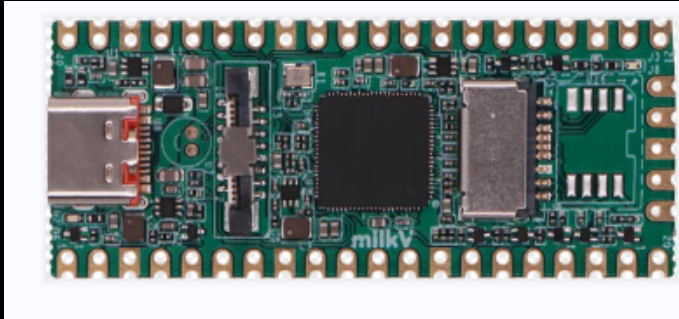
RT-Thread嵌入式操作系统



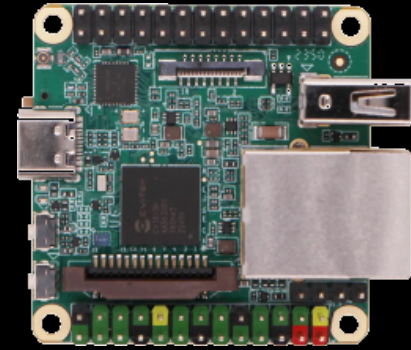
支持的RISC-V板卡



Milk-V duo



Milk-V duo256M



Milk-V duoS



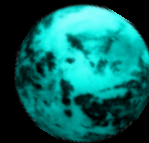
K230



K210



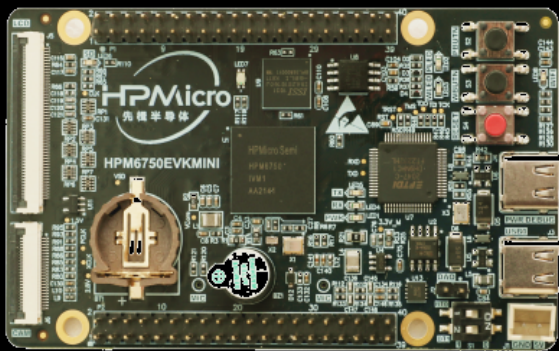
GD32VF103V



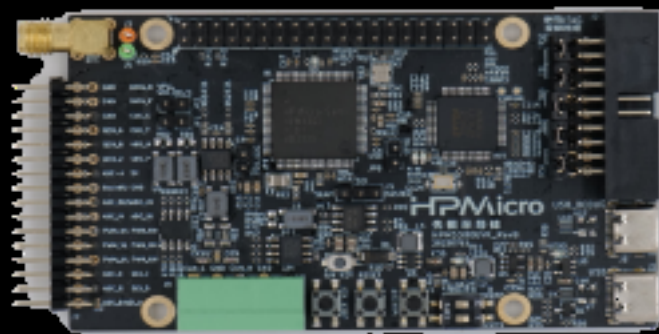
RT-Thread嵌入式操作系统



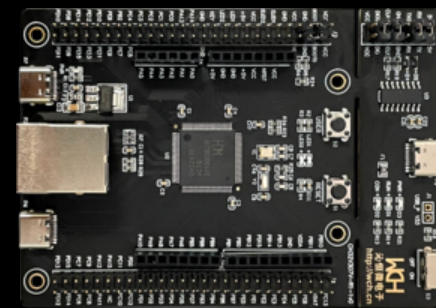
支持的RISC-V板卡



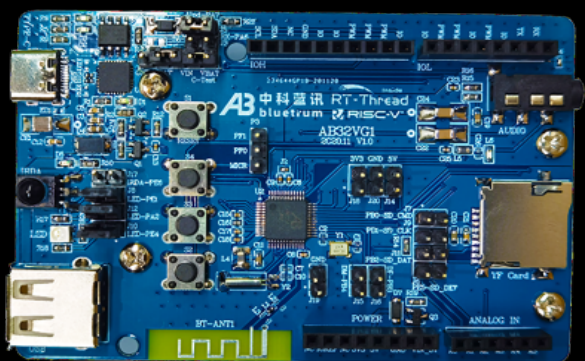
HPM6750EVKMINI



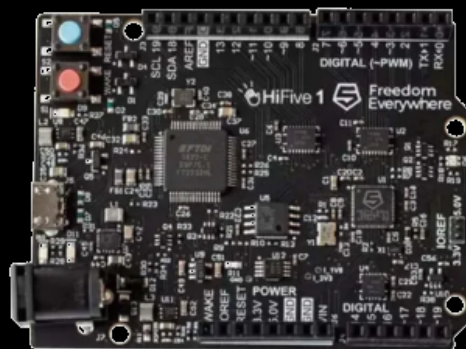
HPM5300EVK



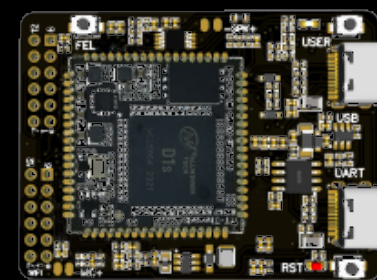
CH32V307V-R1



AB32VG1-ab-prougen



HiFive1 Rev B01



全志D1S



RT-Thread嵌入式操作系统



多核RISC-V芯片

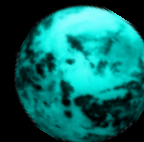
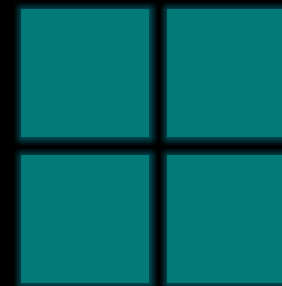
异构多核 (主从核)

- AMP
- 可以是不同架构的CPU Core, 也包括大架构相同, 但小架构有差异;
- 如
 - K230, 大小核C908, 不同主频的C906;
 - SG2002, 大小核 C906, 小核C906没有MMU



同构多核 (主从核)

- SMP
- CPU Core都是相同的, 以及也都能访问外设。外设访问方式, 地址空间都一致;
- 如
 - TH1520, 4核C910
 - 超睿, UR-DP1000





多核RISC-V芯片：带来的好处



SMP

AMP

为什么用多核？

强大性能

- 多核并行执行，每个核都是一个执行实体；
- 并行执行，性能直接提升；

高能效比

- 更低的频率，更高的效率，直接降低功耗；
- 相比分离架构，成本更低，体积更小；

专事专用

- 专用架构用于擅长事务、工作上；
- 实时核，安全核，DSP，NPU，xPU；

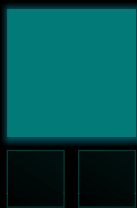
强扩展性

- 更易编程、开发；
 - AMP中的内存共享；
 - SMP中的一体化编程；
- 总线型交互存在序列化，反序列化的问题；





多核RISC-V：异构多核上软件的挑战



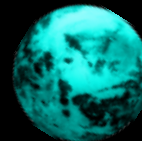
AMP

多核交互

- 往往可能是小核，资源受限；
- 核间轻量级并高效的通讯机制；

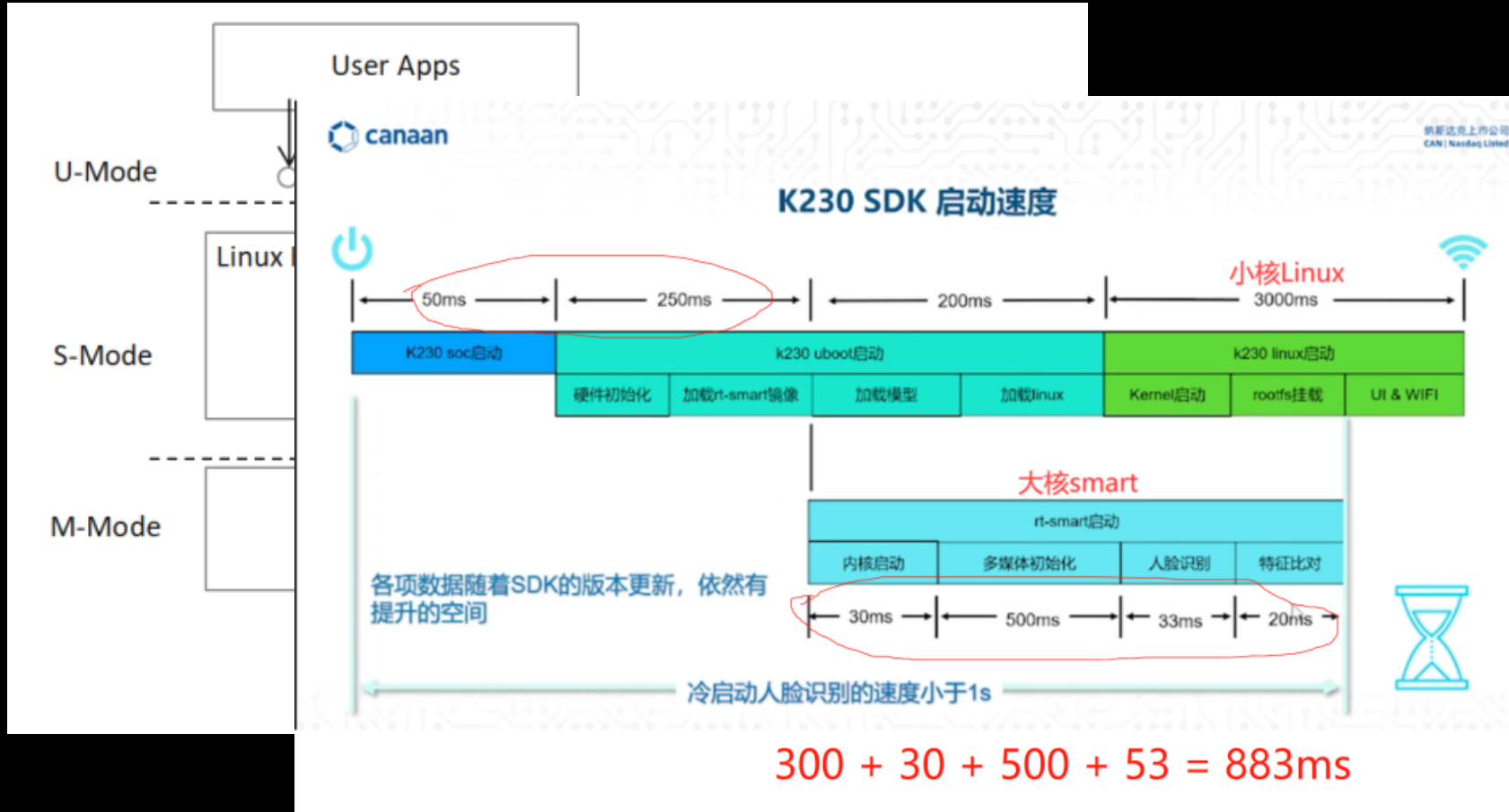
开发和调试

- 如何做到多核场景下的高效开发和调试
- 开发
 - 一种模式下的开发，还是多种模式下的开发；
- 调试
 - 调试时关注到一个系统即可，还是需要多个系统都会涉及；





RT-Thread针对异构多核RISC-V架构支持情况



复杂的工作，例如存储，

实时控制，这里运行RT-

系统。

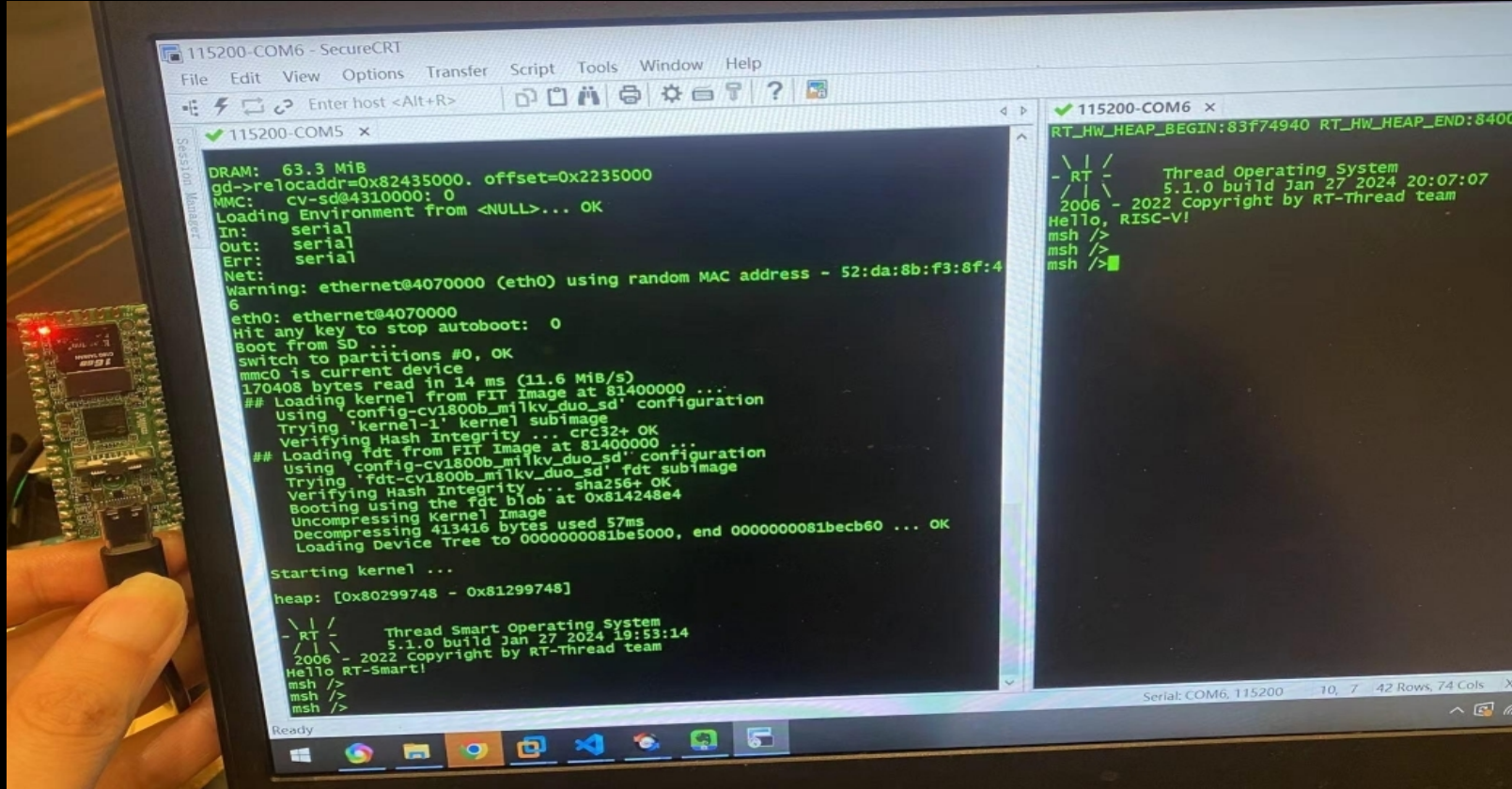
之间，可以通过标准的

进行





RT-Thread针对异构多核RISC-V架构支持情况

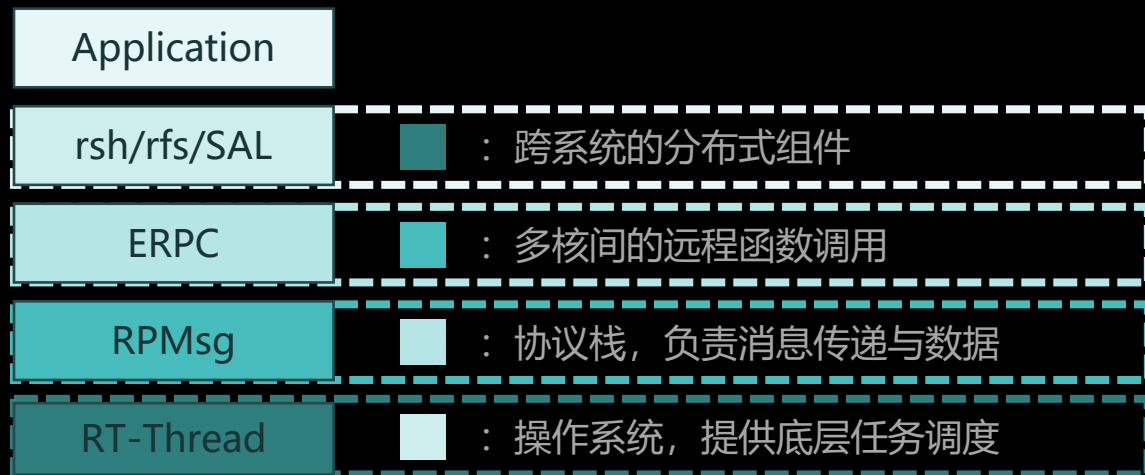
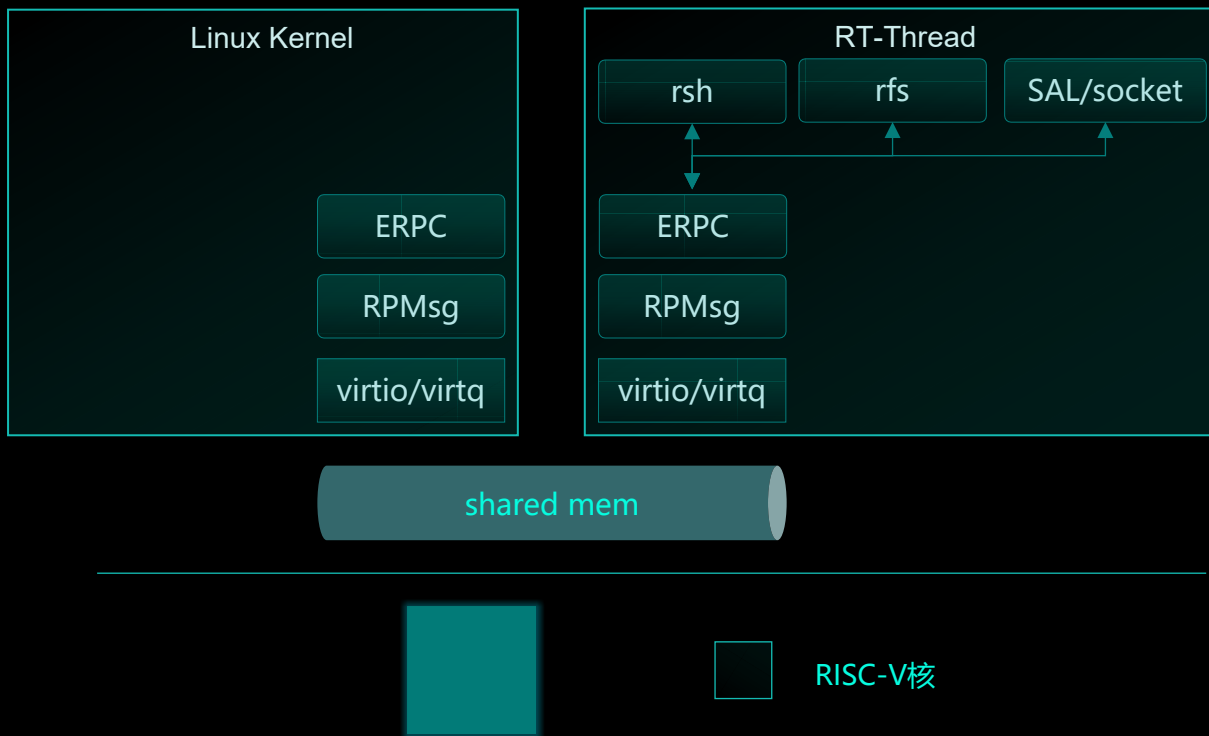


RT-Thread社区开发者在 RISC-V 开发板 milk-v duo 上实现在大核(RISC-V C906) : 运行 RT-SMART, 在小核 (RISC-V C906 无MMU) 运行 RT-Thread.





RT-Thread异构多核下的轻量级RPMsg及分布式组件

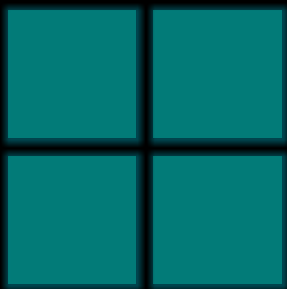


32位环境, RPMsg组件资源占用情况:
Code: 1kB, RAM: 256Bytes





多核RISC-V：同构多核上软件的挑战



SMP

多核性能

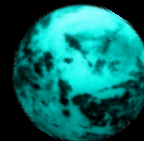
- 负载均衡算法；
- 在单核上，实时性会更偏确定性调度；而多核上，涉及到大锁，任务迁移，实时性等系列挑战；

cache

- SMP多是高性能处理器，一般都会携带 cache 特性；
- Cache抖动会带来很大的不确定性（如任务迁移时，cache数据并不会迁移）；

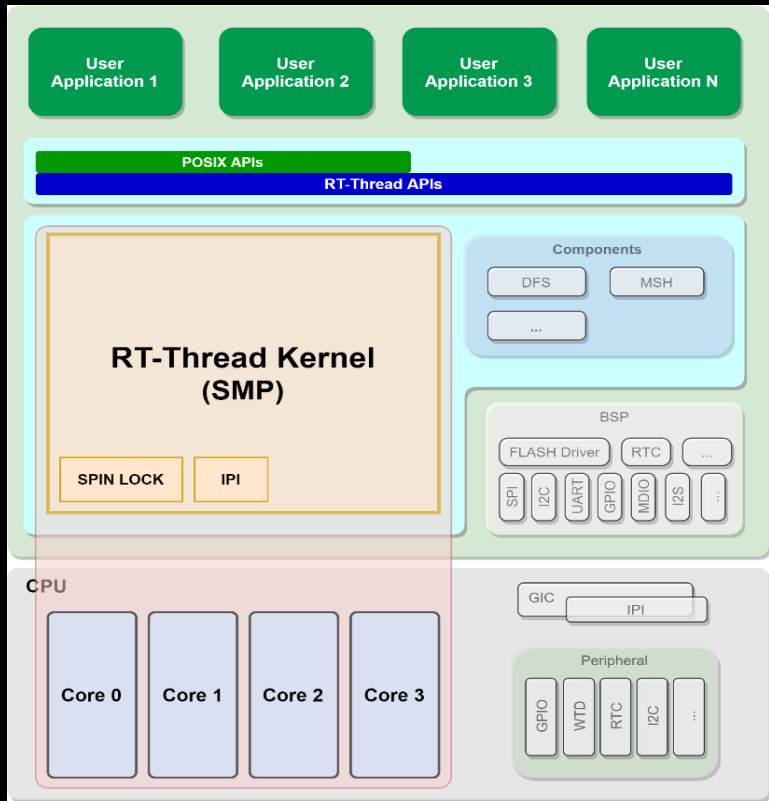
调试

- 多核场景带来更大的不确定性，如何进行调试是摆在面前的问题；
- 日志？调试器？调试器模式时：当一个核断点停下来时，其他核的行为应该是什么样的？





同构多核RISC-V的支持情况



RT-Thread v4.1.1 LTS版本

- RT-Thread 自 v4.0.0 版本开始支持 SMP
- 可以通过使能 RT_USING_SMP 来开启

> RT-Thread v5.1.x版本

- 对SMP多核进行全面的优化
 - 优化遗留的大锁代码，大锁拆成小锁；
 - 优化cache的处理，任务更偏向于在原核上执行；
 - 优化调度器代码，优化任务TCB结构，区分冷数据/热数据，更多使用无锁代码；

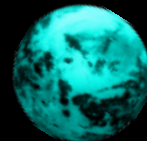
UR-DP1000芯片 8核RISC-V 64

- 支持到RT-Thread v5.2.1
- 支持RT-Thread RTOS及Smart版本
- 支持SMP多核运行，及周边外设，如SPI/网卡等；



UR-DP1000 芯片

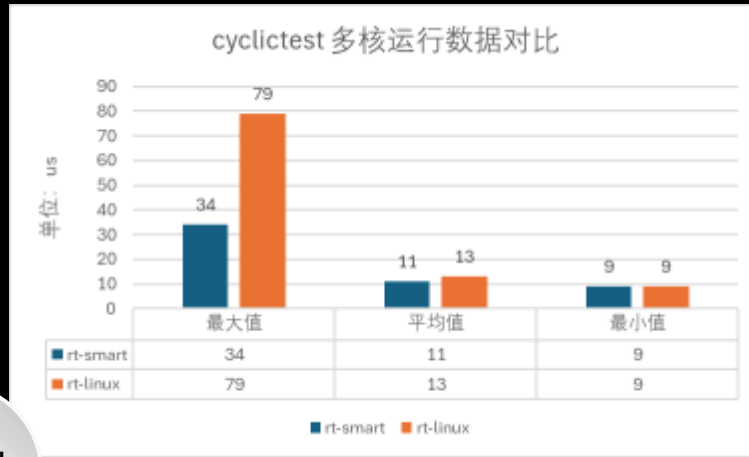
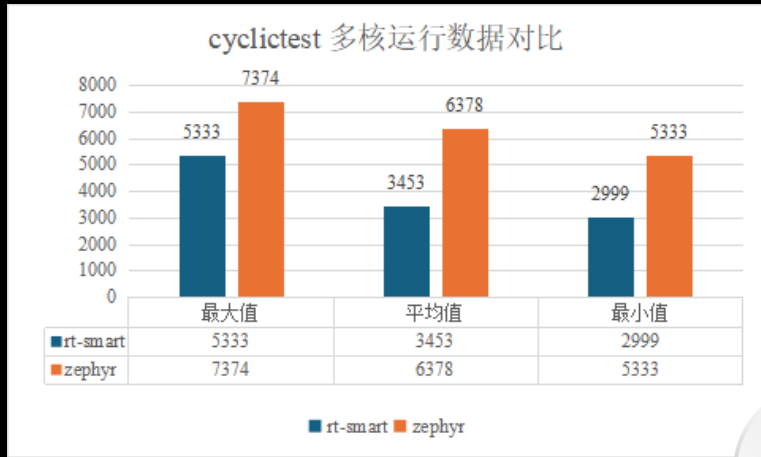
DP1000 MATX 板卡



RT-Thread嵌入式操作系统

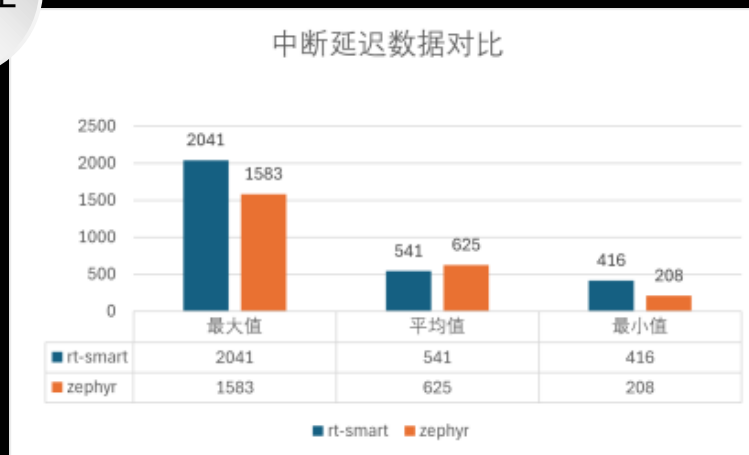
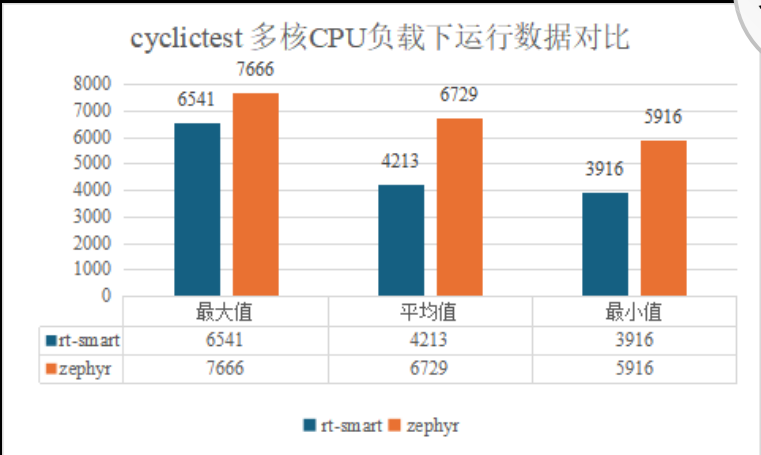


同构多核下的实时性能指标情况



vs Zephyr, vs RT-Linux情况

实时性

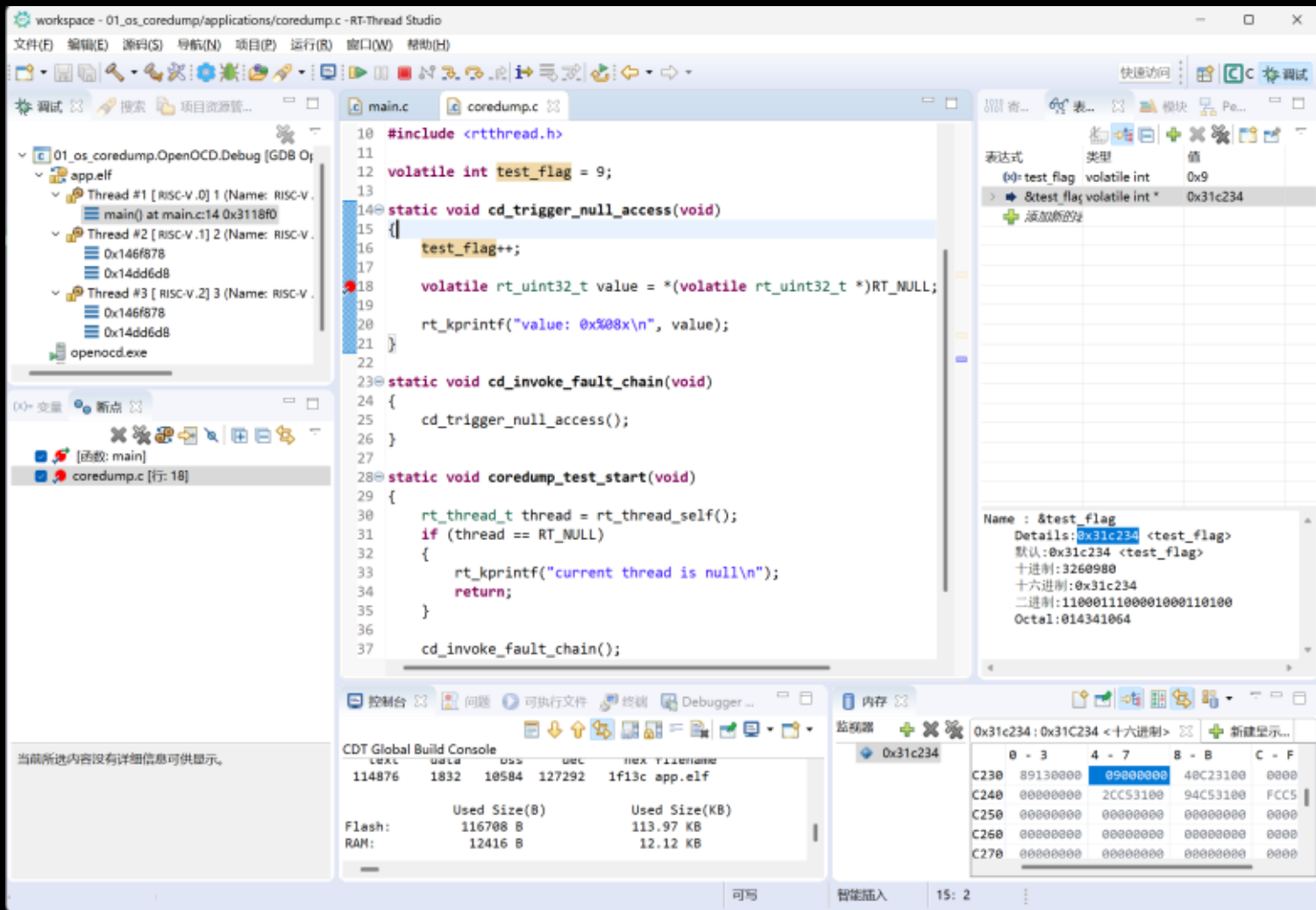


- 选择使用相同GCC工具链版本及参数



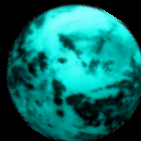


面向多核RISC-V的开发环境



All in One集成开发环境

- 集成GNU GCC工具链、兆松工具链；
- 创建工程
- 配置工程
- 管理工程
- 编译工程
- 多核调试





RISC-V开发环境

The screenshot displays a development environment for RISC-V. On the left, a debugger window shows the state of registers and the call stack. The registers section includes CPU registers like zero, ra, sp, gp, tp, t0, t1, t2, and fp. The stack section shows the current function call, rt_hw_context_switch(). On the right, a Windows PowerShell terminal window shows the output of a build process. It lists the compilation of various kernel components (e.g., components.o, cpu_up.o, defunct.o, idle.o, ipc.o, irq.o, kernno.o, kstdio.o, kstring.o, rt_vsnprintf_std.o, rt_vsscanf.o, kservice.o, mempool.o, object.o, scheduler_comm.o, scheduler_up.o, signal.o, slab.o, thread.o, timer.o) and the linking of the final binary, rtthread.elf. The terminal also shows the size of the binary and the completion of the build process.





RT-Thread for RISC-V SMP



在大多数情况下无感，有几点需要注意：

- ①、多核状态下需要使用spinlock，自旋锁，进行多核互斥<而不是单核下的开关中断>；semaphore、mutex可继续使用，并且可达到多核任务间互斥的目的；
- ②、多任务可以并行执行（而不是伪并行、实串行），默认做负载均衡，也可以绑核；
- ③、底层需要更多的关注到cache，内存屏障；性能问题上也多考虑到cache，或亲和性方面；
- ④、推荐更多使用无锁化设计和实现，多使用atomic操作；





未来RT-Thread在RISC-V上的发展

RT-Thread Smart for RISC-V

- 开启设备树支持，以设备树的方式来描述外设情况
- CPU & Memory、PIC、console
- 更多外设，SD/eMMC, GMAC/EMAC, USB等

跟进Fast Interrupt规范

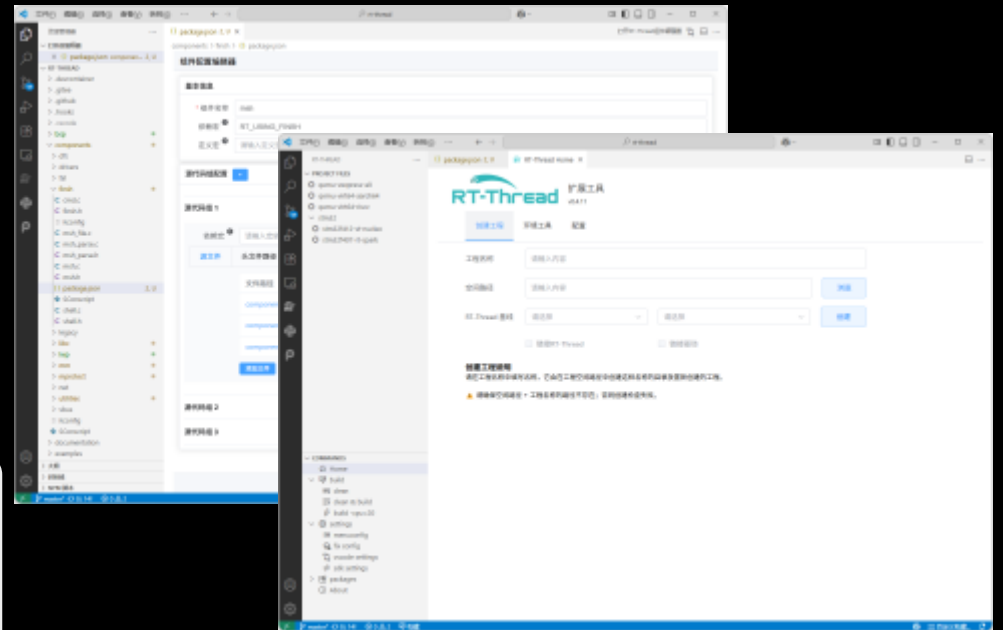
- 面向实时控制，更短的服务周期；

工具

- VSCode 扩展，辅助开发
- RT-Trace for RISC-V
 - 面向RISC-V芯片的仿真调试工具（包括支持到多核）
 - 面向RISC-V架构的trace工具
- mlibc
 - 开源 & 社区化，面向嵌入式的轻量级libc库，特别是RISC-V
 - 支持到multi lib方式的工具链；

社区运营

- 甲辰计划及PLCT实验室合作
- 100名面向RISC-V的实习生
 - 有RISC-V芯片的地方就有RT-Thread



RT-Thread嵌入式操作系统



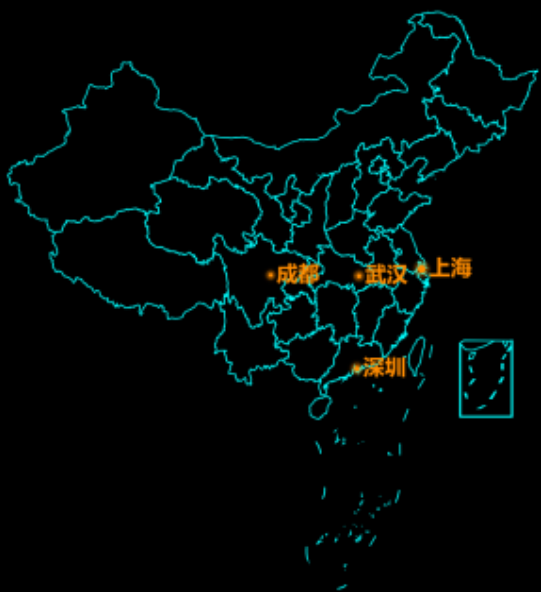
RT-Thread 睿赛德科技：核心软件技术服务商

睿赛德科技 在国内操作系统领域享有盛誉，作为 RT-Thread 开源物联网操作系统的贡献者和维护者，负责 RT-Thread 操作系统的核心技术开发、社区运营和市场推广等工作。

以做世界级的操作系统做为我们的目标和远景！



- 广泛应用于电力、工业、汽车、轨交、航天、机器人、消费电子等众多领域；
- 服务国家电网、中铁、中车、德赛西威、比亚迪、上海电气、汇川、中控等近万家知名企业

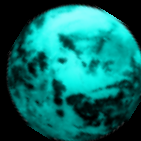


国产嵌入式操作系统

- 25亿+装机量
- 丰富的软件生态
- 活跃的社区

国家认证

- 国家高新技术企业
- 通过软件产品、软件产品认定
- 专精特新企业



RT-Thread 嵌入式操作系统



睿赛德的产品线及服务



智驾域	车身域	座舱域
底盘域	动力域

程翮整车基础软件OS

PLC	工业机器人	流程自动化
数控机床	视觉检测

睿擎软硬一体工业开发平台

- 社区推广、协同：
 - 社区运营；
- 支持、服务客户：
 - RT-Thread相关的系列技术培训、支持、服务；
 - 搭建面向企业的跨端开发体系、流程；

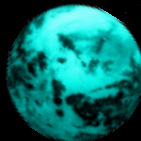
基于开源RT-Thread的技术服务



RT-Thread嵌入式操作系统



做世界级的操作系统!



RT-Thread嵌入式操作系统