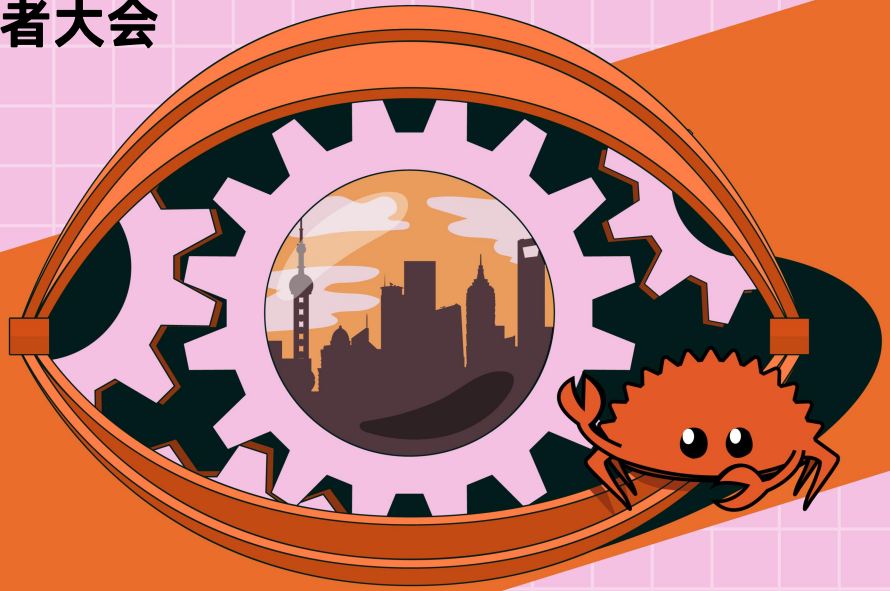
RUST CHINA CONF 2023

第三届中国Rust开发者大会



6.17-6.18 @Shanghai

本次演讲……

组件化驱动、ROM运行环境与RustSBI

洛佳

华中科技大学 网络空间安全学院

2023年6月

关于我……

- 笔名洛佳
- 华中科技大学网络空间安全学院研一在读（导师：周威老师）
- 研究方向：物联网安全、系统安全
- 热爱开源，乐于尝试新技术
- RustSBI项目维护者
- 致力于向科研、教学和产业界推广Rust语言

目录

组件化驱动

汲取Rust嵌入式和操作系统生态经验，总结而成的新一代驱动开发方法。动、静态基地址结合，高灵活性；一次开发，同时复用于嵌入式、固件和内核中。

ROM运行环境

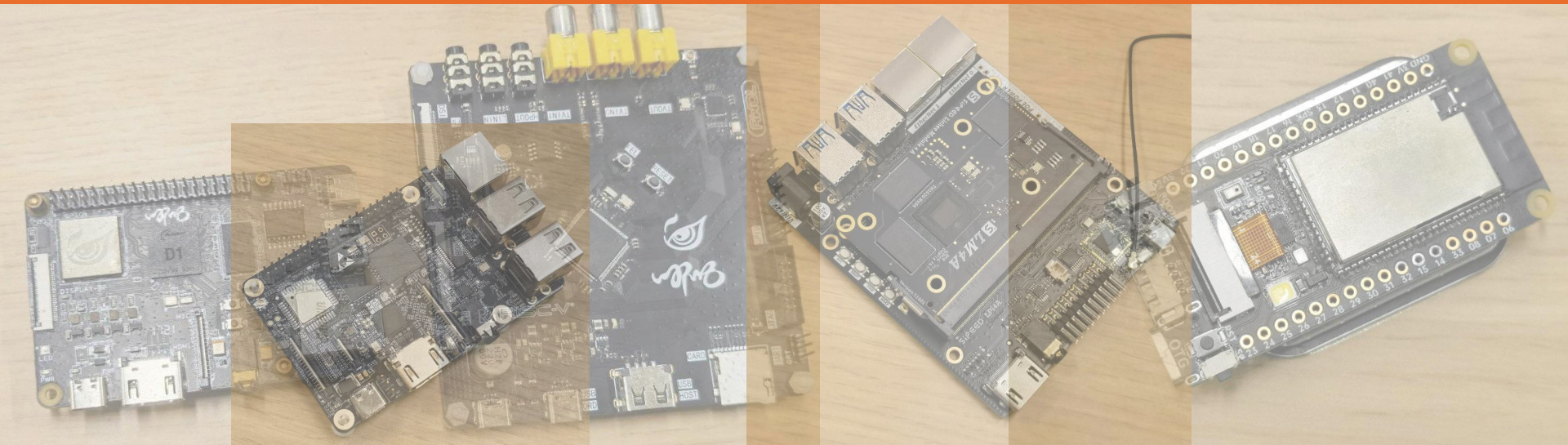
合理利用嵌入式、桌面和服务器芯片片内ROM代码，构造零开销的运行环境。进一步地，可完成安全引导、安全镜像分发和通常的嵌入式开发等功能。

2023年的RustSBI

作为RISC-V SBI固件的RustSBI，2023年将与UEFI、LinuxBoot擦出火花。在驱动、环境和SBI接口的基础上，提供快速实现具体引导流程的解决方案。

第 01 部分

组件化驱动



什么是组件化驱动？

21世纪的驱动程序

运用生命周期、可变性等最新的编程语言理论成果，构造适应开发需求的驱动程序。可结合过程宏等工程设计，提高开发效率。

高可复用、生态融合

同系列芯片可共用驱动，同系列外设驱动可复用。对接业界及开源成熟标准，新芯片系统开箱即用，与成熟组件自由组合。

灵活、高效、低成本

动、静态基地址结合，零开销抽象。只开发一次，同时运用于嵌入式、固件和操作系统生态中。轻松构造测试框架，快速验证组件。

系统软件开发新模式

从基础算法到文件、网络，操作系统的各个部分可拆为组件。灵活组合组件，构成符合应用需求的组件化操作系统。

组件化驱动的组成方法


抽象功能
外设功能
寄存器表示
成熟开源标准的抽象设计
适配embedded-hal等外设功能标准抽象
面向功能的外设结构
联合所有权、泛型等，暴露外设所有功能
外设及其寄存器表示
封装寄存器、位域表示和数据结构

分享性外设：以GPIO为例

- 从前级环境获取所有权，如从ROM运行环境的#[entry]获得；
- 配置GPIO状态后，只有对应外设类型允许的操作函数能通过编译，否则拒绝编译，避免不安全行为；
- 开源标准抽象的功能，使用抽象规定的调用方法。本芯片外设专属的功能也可通过专有函数使用；
- 用户代码简短易懂，容易编写和调试，降低开发成本。

```
254  /// Available GPIO pins.
255  pub struct Pins<A: BaseAddress> {
256      // GPIO I/O 0.
257      pub io0: Pin<A, 0, Disabled>,
```

```
10  /// Individual GPIO pin.
11  pub struct Pin<A: BaseAddress, const N: usize, M: Alternate>
```

```
15  #[entry]
16  fn main(p: Peripherals) -> ! {
23      let mut led = gpio.io8.into_floating_output();
24      let mut button_1 = gpio.io22.into_pull_up_input();
25      let mut button_2 = gpio.io23.into_pull_up_input();
26      button_1.enable_schmitt();
27      button_2.enable_schmitt();
28      let mut led_state = PinState::High;
29      loop {
30          let button_1_pressed = button_1.is_low().unwrap();
31          let button_2_pressed = button_2.is_low().unwrap();
32          if button_1_pressed && button_2_pressed {
33              led.set_state(led_state).ok();
34              led_state = !led_state;
35              for _ in 0..100_000 {
36                  unsafe { core::arch::asm!("nop") }
37              }
38          } else if button_1_pressed {
39              led.set_low().ok();
40          } else if button_2_pressed {
41              led.set_high().ok();
42          }
```

```
// enable jtag
gpio.io0.into_jtag_d0();
gpio.io1.into_jtag_d0();
gpio.io2.into_jtag_d0();
gpio.io3.into_jtag_d0();
```

*BL808组件化驱动操作GPIO按钮和灯

组件化外设的分类和设计方法

通用连接外设

UART、SPI和I2C等，通过互斥IO引脚划分资源，抽象接口，使用片外外设支持库

多媒体外设

MIPI、HDMI、DisplayPort和音频连接等，与对应的功能、电源外设共同设计

AI加速外设

包括自研AI核、核显和向量扩展等，编写专用驱动后，对接常用软件框架

高速板级通信

DDR、PSRAM等，结合控制器选择和输入合适的参数，用于准备后续启动过程

无线连接外设

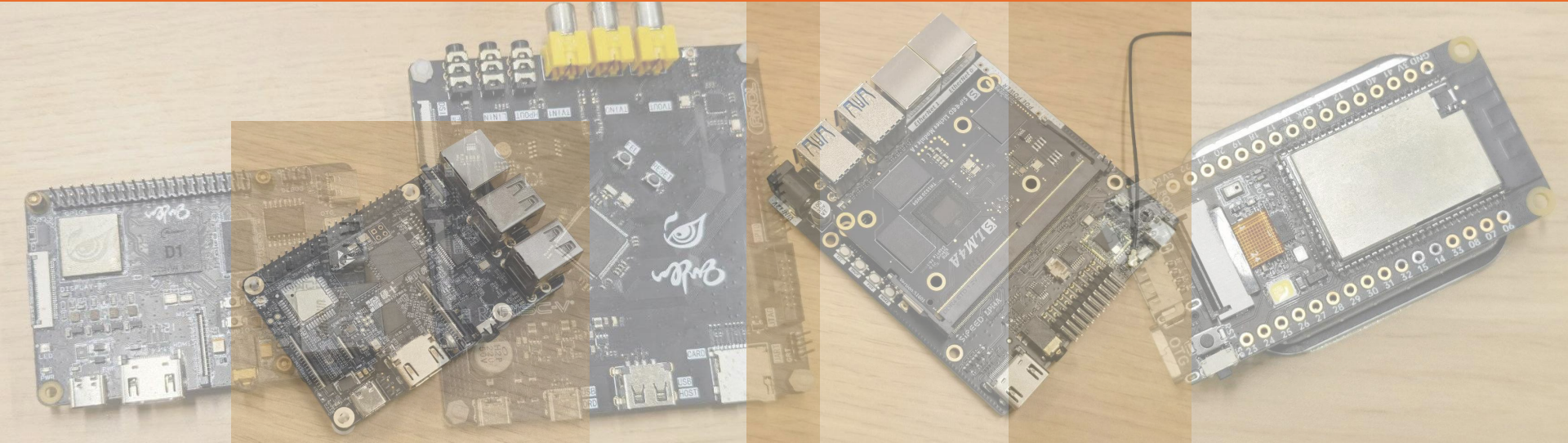
Wi-Fi基带、蓝牙、UWB等，合理编写频域、功率等软件限制，结合开源协议栈

中断控制器

统一编写同一IP核或SoC设计的控制器支持，填入常量泛型，即可用于运行环境

第 02 部分

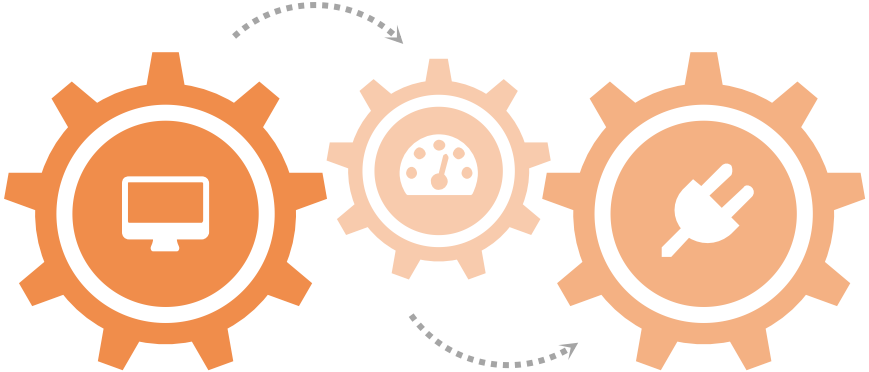
ROM运行环境



裸机和引导程序的ROM阶段

生成镜像结构

编译时生成镜像头，通常包含处理器配置、时钟和闪存配置等部分



高级语言环境

初始化bss段、data段，加载栈寄存器，构成高级语言运行的最小环境

外设和时钟

提供具备所有权的外设列表，提供ROM初始化完成的时钟配置

#[entry] 过程宏

- 过程宏是卫生宏，完成语法树间的转换，此处用于将main函数转换为固件需要的入口函数。
- 包含ABI转换、检查参数等步骤。
- 使用过程宏时，同时使用对应包中的start初始化代码。start代码无需由用户编写，而是包含在宏生成的输出代码中。
- 编译即可获得包含镜像头的固件包，这是传统开发方法不具备的功能。

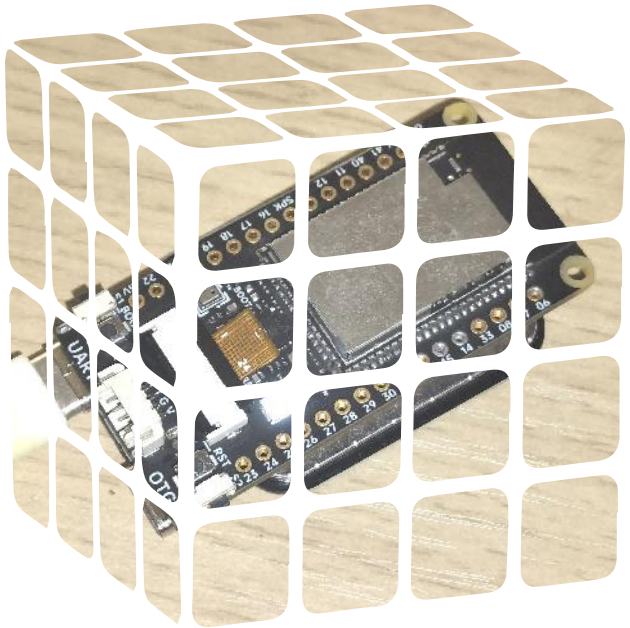
```rust
/// ROM runtime function entry.
#[proc_macro_attribute]
pub fn entry(args: TokenStream, input: TokenStream) -> TokenStream {
    if !args.is_empty() {
        return parse::Error::new(Span::call_site(), "#[entry] attribute accepts no arguments")
            .to_compile_error()
            .into();
    }
```

```rust
// Build this example with:
// m0:
// rustup target install riscv32imac-unknown-none-elf
// cargo build --example blinky-bl808 --features bl808-m
// d0:
// rustup target install riscv64imac-unknown-none-elf
// cargo build --example blinky-bl808 --features bl808-d

#![no_std]
#![no_main]

use bl_rom_rt::{entry, Peripherals};
use embedded_hal::digital::OutputPin;

#[entry]
fn main(p: Peripherals) -> ! {
    let mut led = p.gpio.io8.into_floating_output();
    loop {
        led.set_low().ok();
        for _ in 0..100_000 {
            unsafe { core::arch::asm!("nop") }
        }
        led.set_high().ok();
        for _ in 0..100_000 {
            unsafe { core::arch::asm!("nop") }
        }
    }
}
#[panic
fn pani
    loo
}
```

```rust
        #[cfg(feature = "rom-peripherals")]
        () => quote!(
            #[allow(non_snake_case)]
            #[export_name = "main"]
            #(#attrs)*
            pub #unsafety fn __bl_rom_rt__main(#inputs)
                #(#stmts)*
            }
        ),
```

```rust
#[cfg(feature = "bl808-m0")]
#[naked]
#[link_section = ".text.entry"]
#[export_name = "_start"]
unsafe extern "C" fn start() -> ! {
    #[link_section = ".bss.uninit"]
    static mut STACK: Stack<LEN_STACK_M0> = Stac
    asm!(
        "   la      sp, {stack}
            li      t0, {hart_stack_size}
            add     sp, sp, t0",
        "   la      t1, sbss
            la      t2, ebss
        1:  bgeu    t1, t2, 1f
            sw      zero, 0(t1)
            addi    t1, t1, 4
            j       1b
        1:",
        "   la      t3, sidata
            la      t4, sdata
            la      t5, edata
        1:  bgeu    t4, t5, 1f
            lw      t6, 0(t3)
            sw      t6, 0(t4)
            addi    t3, t3, 4
            addi    t4, t4, 4
            j       1b
        1:",
        "   call  {main}",
        stack = sym STACK,
        hart_stack_size = const LEN_STACK_M0,
        main = sym main,
        options(noreturn)
    )
}
```

多核异构芯片的镜像融合（以BL808为例）



ROM多核启动

直接使用ROM机制开启所有三个核，并加载相关的固件。相比额外引导程序而言，节省引导链级数，增加安全性和效率。

部分固件调试

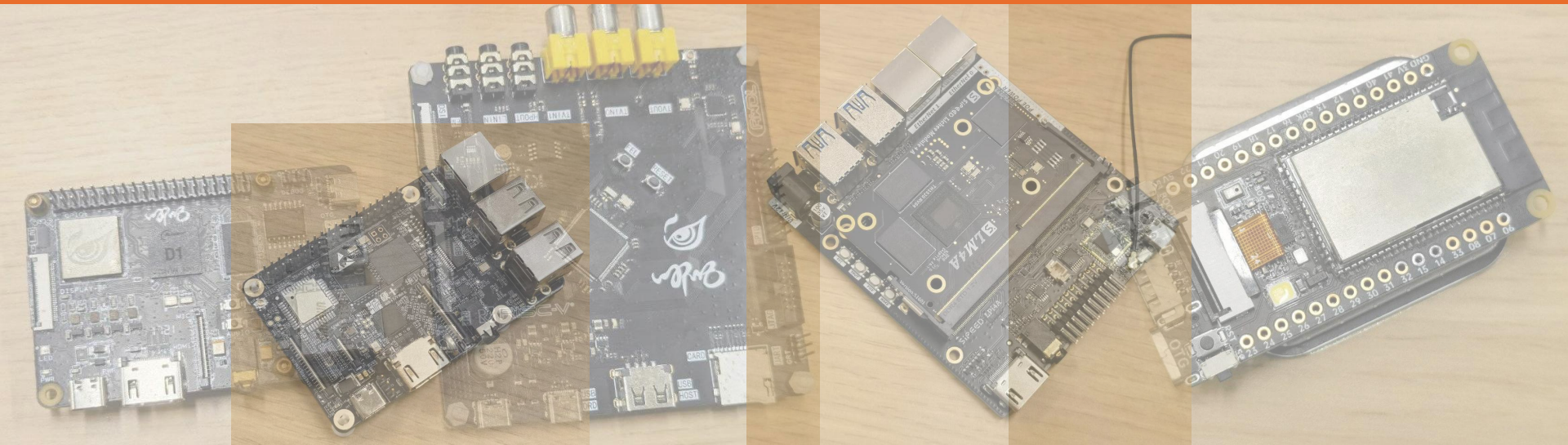
首先编译程序为单核固件，再融合三个固件为多核。单核固件可独立运行，易于按处理器核单独划分和调试。

融合规则

若三个不同固件中镜像头的闪存配置、时钟配置不同，或使用的CPU核有交叉，则拒绝合并。否则，融合为新的镜像头，再导出镜像。

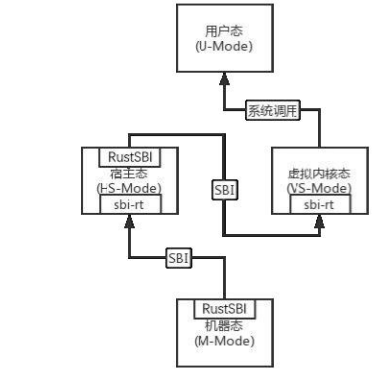
第 03 部分

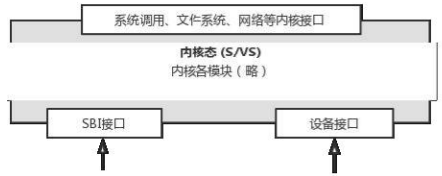
2023年的RustSBI

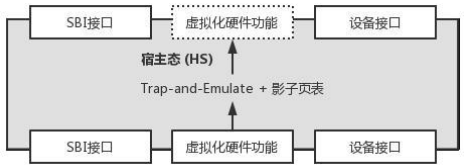


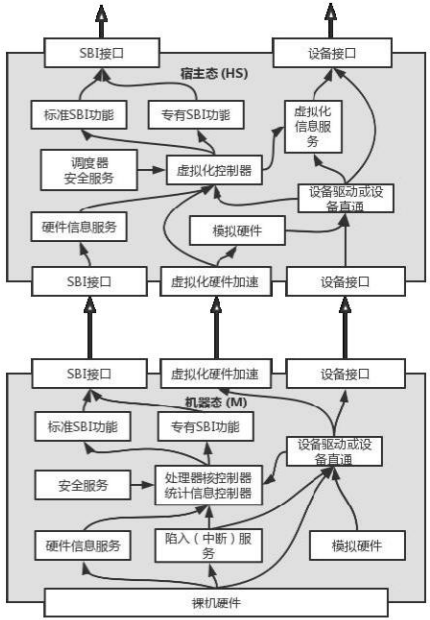
RustSBI软件架构更新

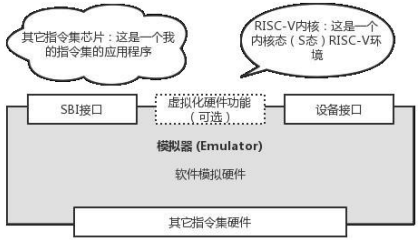
- RISC-V SBI可运用于机器态和虚拟化的宿主态，此时RustSBI实现应为虚拟机提供电源、核管理等功能。
- 嵌套虚拟化存在时，RustSBI实现应当为内部虚拟机软件模拟H指令集。在这方面，Dramforever的项目[1]提供了很好的例子。
- LARVa[2]项目是固件充当模拟器的例子，这里RustSBI被编译到RISC-V之外的指令集。
- YdrMaster设计的sbi-testing[3]测试框架可轻松检查SBI实现的正确性。











[1] https://github.com/dramforever/opensbi-h
[2] LARVa: https://github.com/xen0n/larva
[3] sbi-testing: http://github.com/rustsbi/sbi-testing

RustSBI原型设计系统

构建原型

在组件化驱动、ROM运行环境基础上，快速构建完整的原型引导程序产品

快速选型

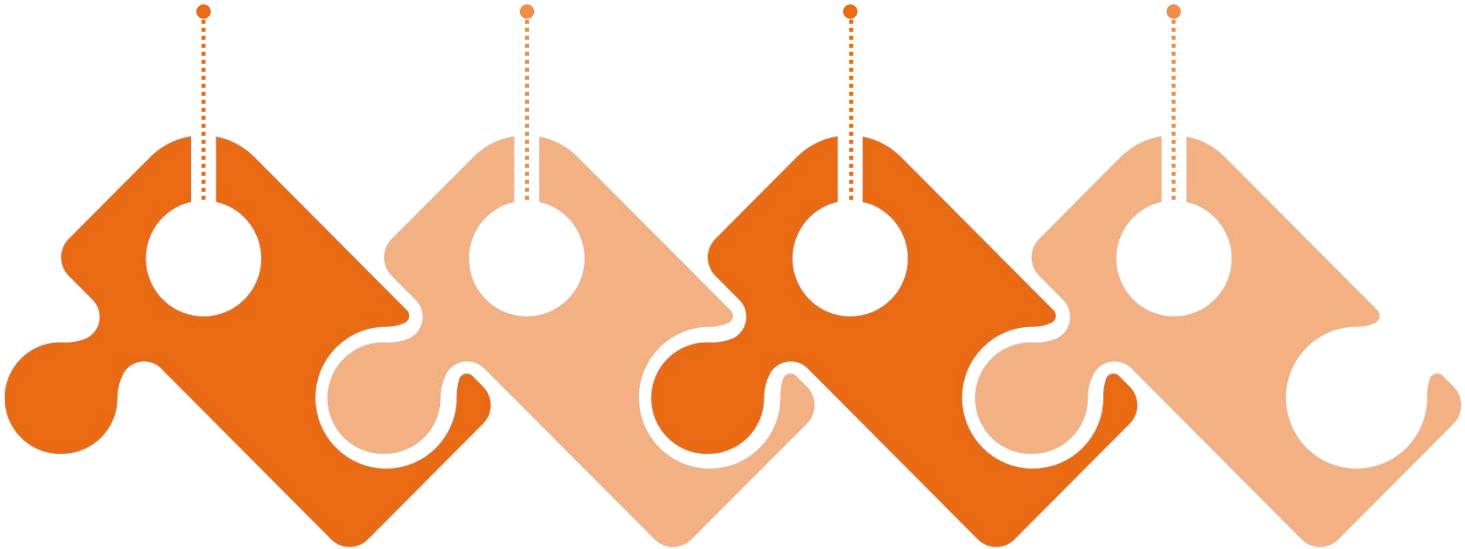
图形化界面选取功能，配置可保存，使用轻便。多语言支持，利于国际化

SBI功能

快速添加需要的机器态SBI功能，包括标准RISC-V SBI和厂商专有的SBI扩展

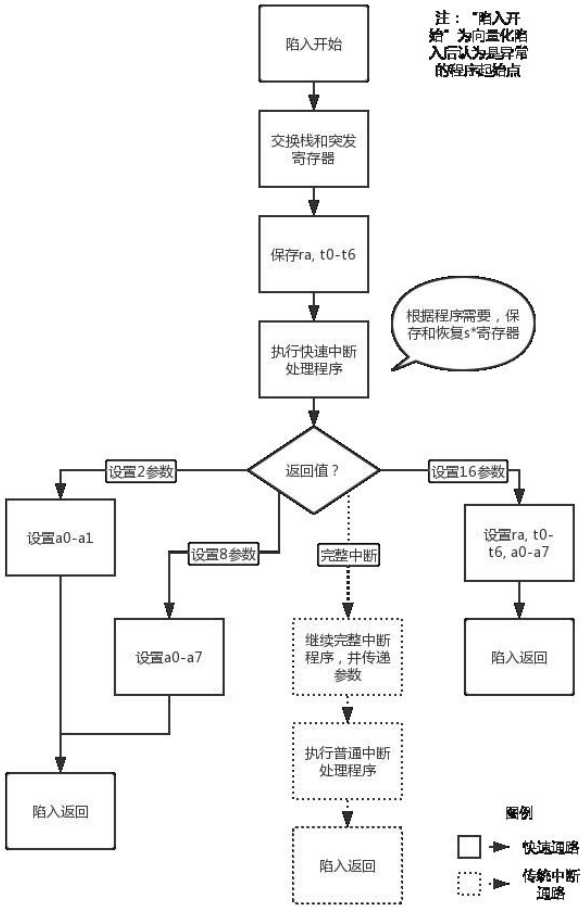
引导启动

可选内核态接口包括UEFI或LinuxBoot，生态丰富完善，快速对比解决方案



RISC-V上的快速陷入通道

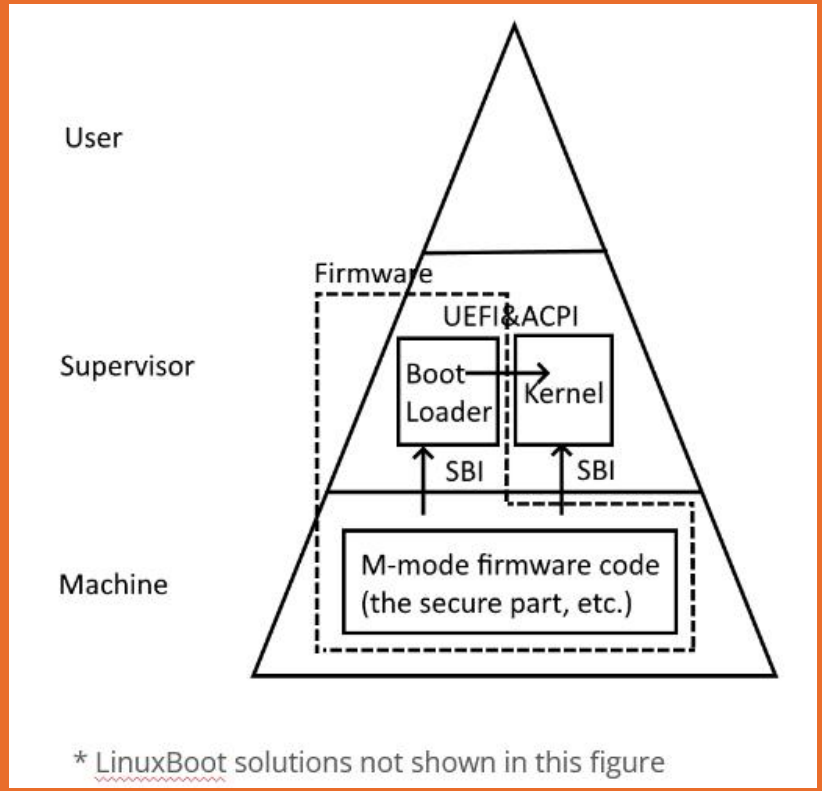
- RISC-V并未强制规定陷入栈的内容，它的上下文切换过程可定制，若给予上下文切换更多的信息，它的性能就可得到进一步提升
- 上下文调用时先保存部分寄存器，让高级语言判断是否进入完整流程，或给定需要设置的寄存器数量
- 尽量减少上下文切换对空间局部性的破坏
- 向量化陷入：硬件取向量，分流mtime、msoft等中断过程和异常过程，进一步细化通路，明确上下文保存需求
- 不同等级的上下文保存到不同结构体中，地址存于突发寄存器，快速处理程序可为完整处理程序提供参数
- 项目地址：https://github.com/YdrMaster/fast-trap



示例：RustSBI原型设计系统选型界面

RustSBI与生态后续引导链

- 对RISC-V UEFI，RustSBI准备好SBI环境。
  - RustSBI充当至关重要的安全层，并准备好S态软件的环境
  - UEFI部分运行在S态
- 对LinuxBoot，RustSBI参与准备好rootfs和最小Linux环境的代码中。
  - 一个优秀的例子是Oreboot[1]
  - RustSBI原型设计系统将会提供此类环境准备软件
- 后续生态的固件也可复用RustSBI编写的静态检查等相关工具。



[1] https://github.com/oreboot/oreboot

致谢

- 感谢Rust语言让我拥有重新认识嵌入式、固件开发的机会。
- 感谢Rustcc嵌入式社区、TUNA嵌入式社区和华科网安的开源团队在关键问题上的答疑解惑，社区的良好氛围对生态有非常大的帮助。
- 感谢@YdrMaster、@duskmoon314、@OrangeCMS和更多直接参与RustSBI开发的贡献者，感谢@双倍多多冰、@dramforever、@大佬鼠的小粉丝和更多熟悉RISC-V的朋友答疑解惑。
- 感谢我在华科的本科生和研究生同学们贡献到bl-rom-rt和bl-soc中，感谢六次开源工坊活动的参与者。
- 感谢博流、Sipeed公司的设备支持和沟通交流机会！

Thank you!