

向 Sail-RISCV 添加扩展：以 smcntrpmf 为例

黄烁

2025 年 1 月 22 日

大纲

① 背景介绍

② 实现方法

③ 总结

背景介绍

- Sail-RISCV 简介
- smcntrpmf 扩展介绍
- Sail-RISCV 模型对应内容简介

Sail-RISCV 简介

- Sail 是一种用于描述指令集架构的语言 (ISA) 处理器的语义。旨在提供工程师友好型、类似供应商伪代码的方式来描述指令语义。它本质上是一阶命令语言，但包含数值类型和位向量长度。Sail 被用于多个 ISA 描述，包括 Armv8-A 顺序行为的基本完整版本、RISC-V、MIPS、CHERI-RISC-V 和 CHERI-MIPS; 所有这些 ISA 都是完备的足以启动各种操作系统。还有针对 IBM POWER 和 x86 较小片段的 Sail 模型。
- Sail-RISCV 是采用 Sail 编写的 RISC-V 架构的规范。它已被 RISC-V 基金会采纳。
- Sail-RISCV 仓库模型指定了指令的汇编语言格式、相应的编码器和解码器，以及指令语义。

CSR 简介

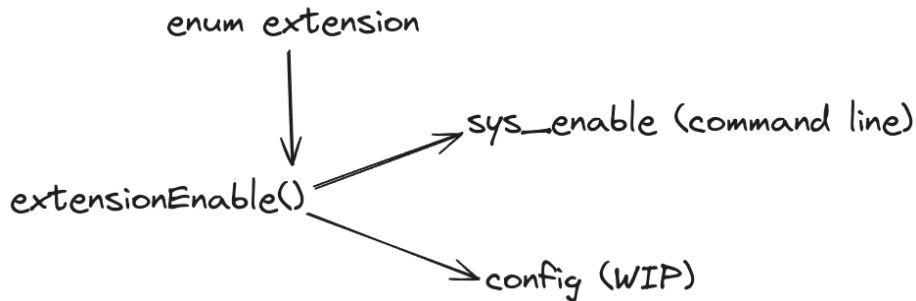
在 RISC-V Zicsr 扩展中讲到，RISC-V 定义了与每个 hart 相关的 4096 个控制和状态寄存器 (csr) 的单独地址空间。而 CSR (Control and Status Register, 控制与状态寄存器) 具有以下主要用途：

- 配置和控制：CSR 包含一系列寄存器，用于控制和配置处理器的各个方面，例如中断使能、时钟设置、异常处理等。
- 中断管理：CSR 中的一些寄存器用于管理中断，包括中断开关、中断入口等信息。
- 存储器保护：CSR 允许设置不同地址空间的存储器的访问属性，例如可读、可写、可执行等。
- 性能统计和调试接口：CSR 中的某些字段用于性能统计，以及与调试器通信的接口。

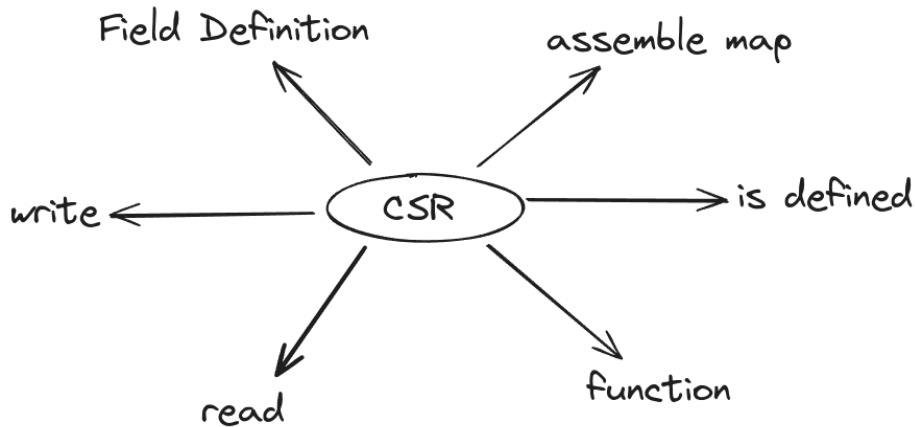
这些 CSR 在不同特权级别下具有不同的访问权限，用于控制处理器的行为和状态。

Sail-RISCV 扩展管理

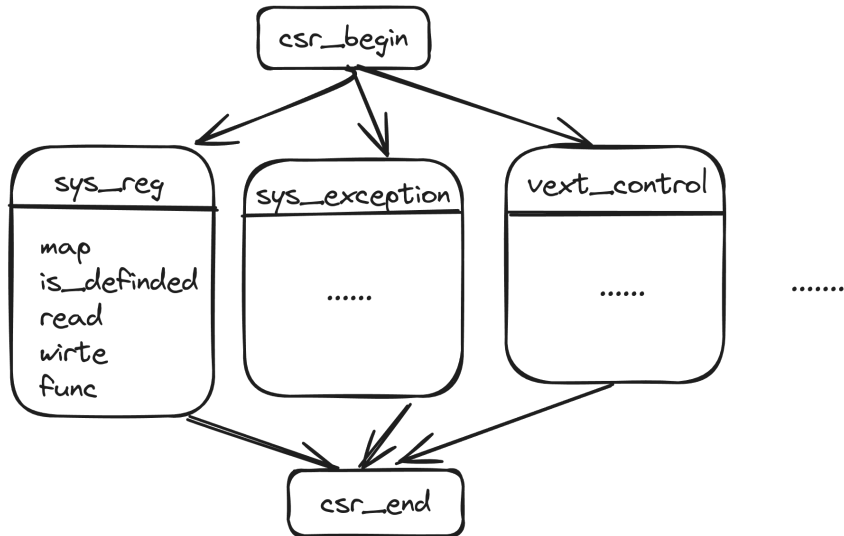
Sail-RISCV 中使用 enum 对它实现的扩展进行定义，并保存在 `model/riscv_extensions.sail` 文件中，而何时以及什么条件下此扩展被允许加载，由 `extensionEnabled` 函数决定。此函数针对不同扩展分别定义，有些由命令行参数决定，正在进行的工作是使得这些扩展的定义可在运行时自由配置



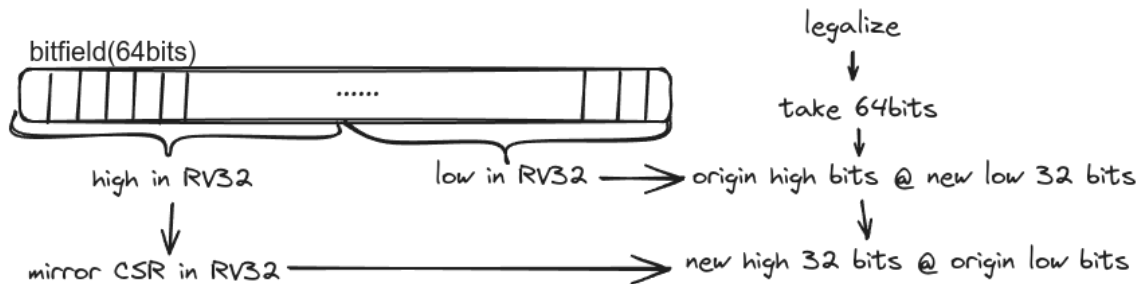
Sail-RISCV CSR 要素



Sail-RISCV 当前 CSR 组织体系



Sail-RISCV 对 64bits CSR 读写的实现



smcntrpmf 扩展介绍：动机

周期计数器和指令计数器用于支持用户模式自我分析的用法，其中用户可以读取计数器两次并计算增量，以评估用户软件的性能和行为。目前，这些计数器不受特权模式的过滤，因此在处理对更特权代码的陷阱（例如，页面错误或中断）时，它们会继续递增。这导致两个问题：

- 它给用户观察到的计数器值引入了不可预测的噪声。
- 它泄露了有关特权软件执行的信息给用户模式。

smcntrpmf 扩展介绍：CSR 定义

为了解决这个问题，spec 定义了 CSR mcyclecfg, minstretcfg, 以下是其对应字段以及功能：

63	62	61	60	59	58	57:0
0	MINH	SINH	UINH	VSINH	VUINH	WPRI

Field	Description
MINH	If set, then counting of events in M-mode is inhibited
SINH	If set, then counting of events in S/HS-mode is inhibited
UINH	If set, then counting of events in U-mode is inhibited
VSINH	If set, then counting of events in VS-mode is inhibited
VUINH	If set, then counting of events in VU-mode is inhibited

Sail-RISCV Couter 实现

- tick_clock 函数
- step 函数
- retire_instruction 函数

实现步骤

- ① 扩展指令编码定义
- ② 实现指令语义

总结与展望

本次技术分享中：

- 扩展了 Sail-RISCV 模型，添加了 smcntrpmf 扩展
- 分析现在 Sail-RISCV 经过重构的 CSR 管理体系
- 未来继续完善 Sail-RISCV 模型，添加更多扩展

致谢

感谢聆听！

欢迎提问