



# RISC-V处理器Chisel设计指令集一致性 形式验证关键技术

刘易铖 申世东 冯维直 吴志林 张立军

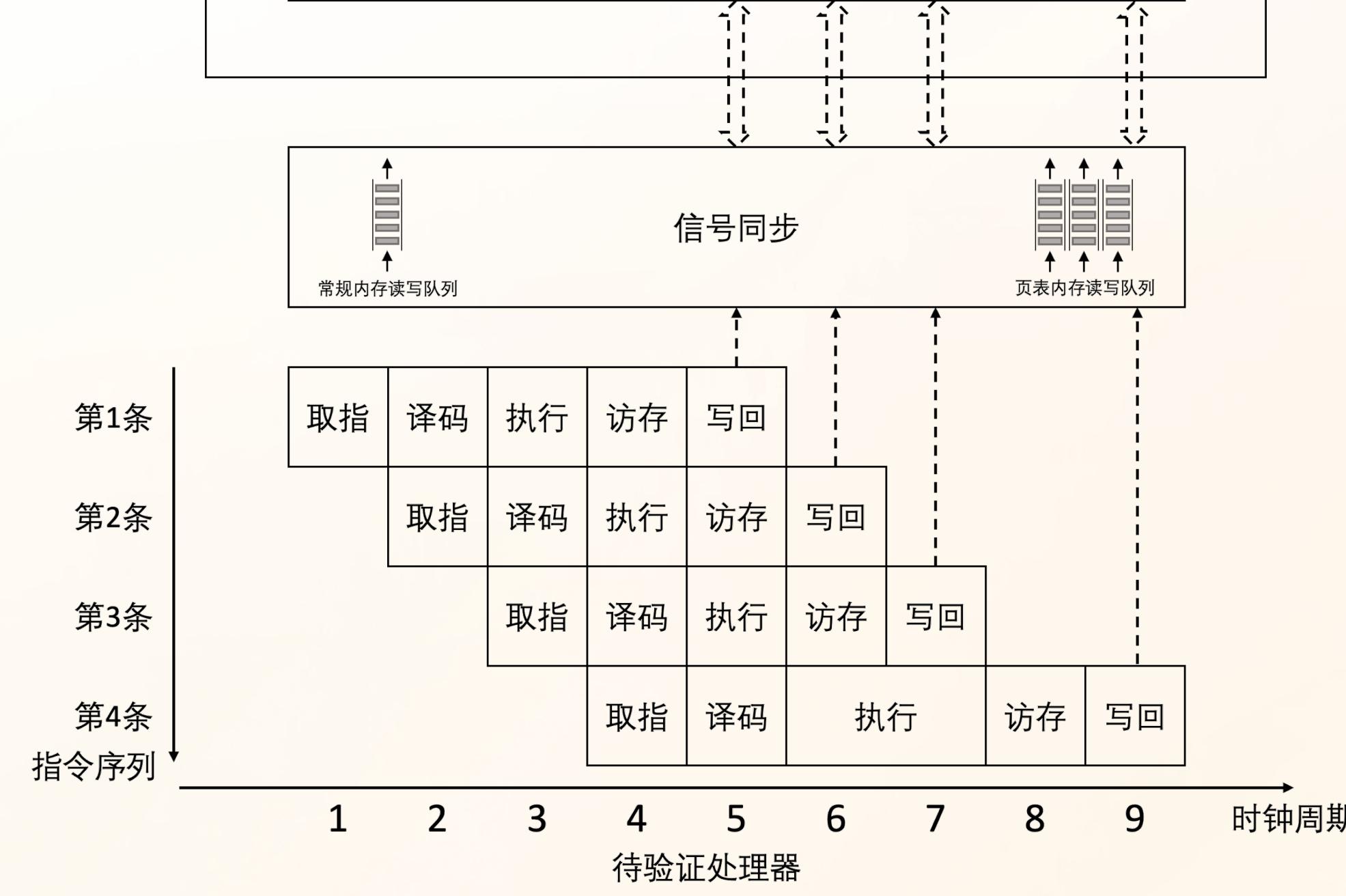
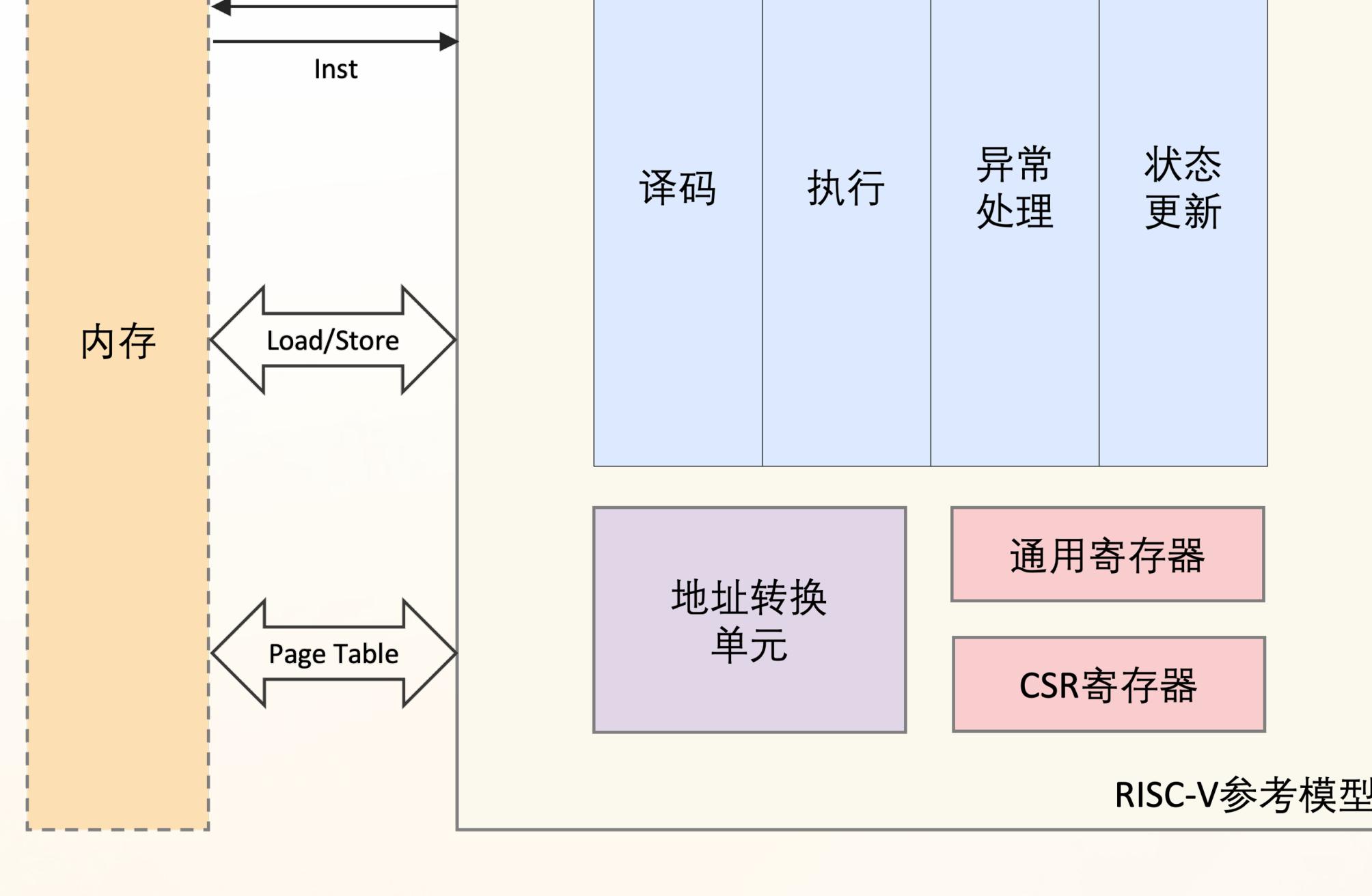
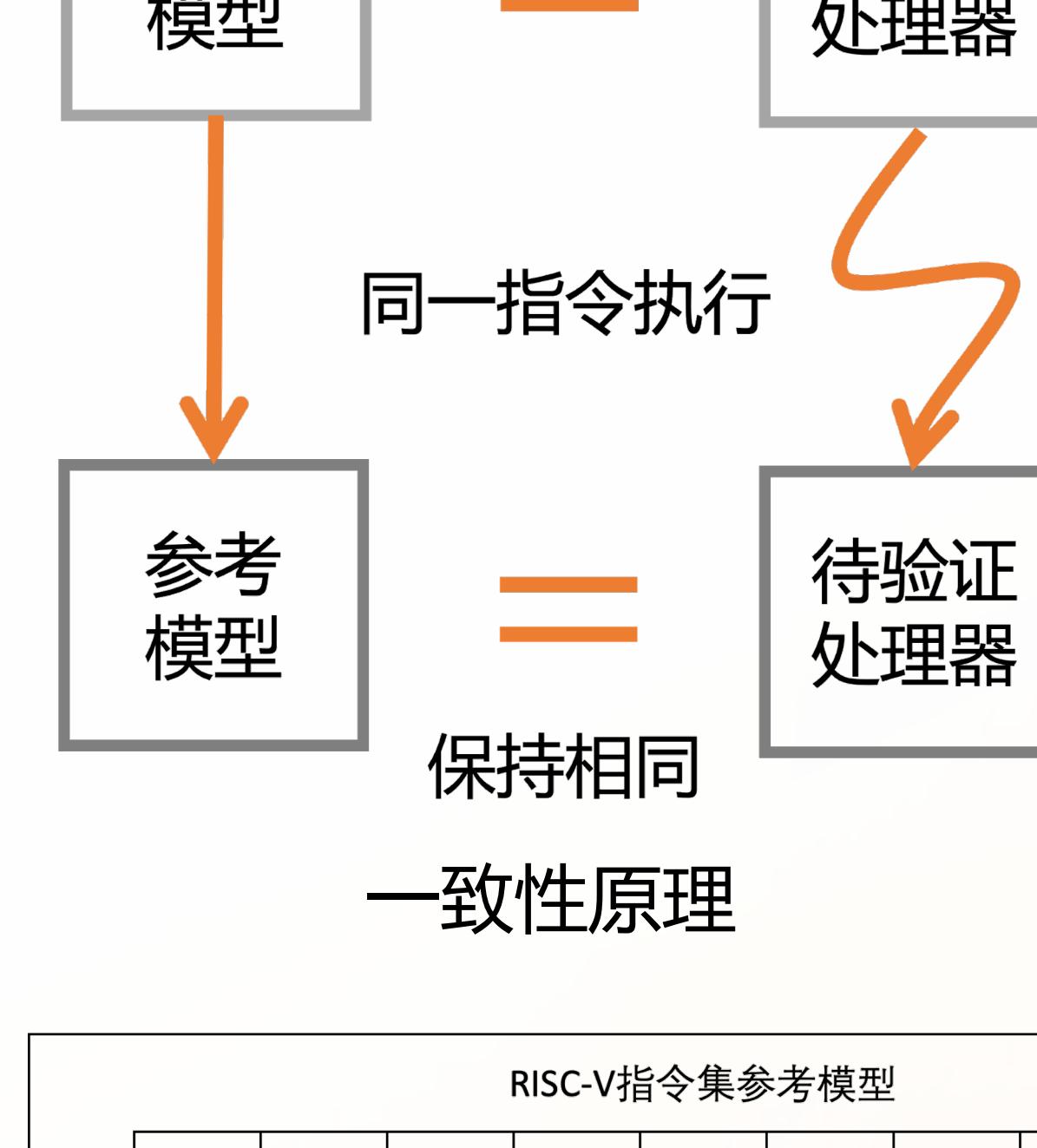
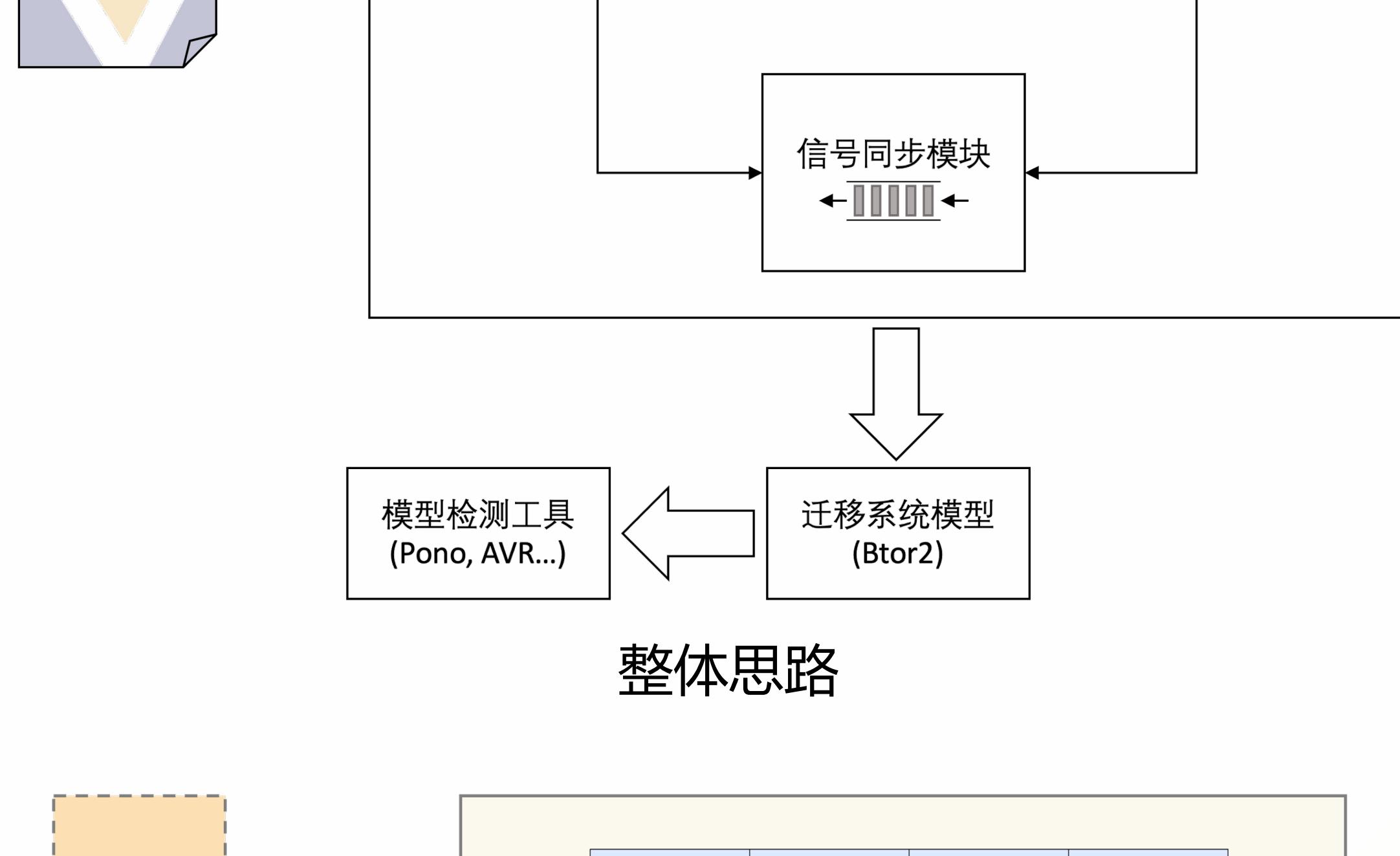
刘易铖 liuyc@ios.ac.cn 15890069966

## 背景介绍

指令集一致性验证对处理器设计是否符合指令集规范进行检查，是处理器功能验证的重要环节。随着RISC-V指令集和硬件敏捷开发语言Chisel的发展，面向Chisel设计的RISC-V处理器的指令集一致性的验证需求也日益增多。

## 总体思路与设计细节

1. 使用Chisel对RISC-V指令集进行描述，构造参考模型
2. 将参考模型与待验证处理器的信号一致性作为求解目标
3. 通过信号同步接入待验证处理器
4. 使用模型检测工具进行求解



## 实验结果

将中国科学院大学一生一芯项目开源的**NutShell处理器**接入信号同步机制，使用**Pono**调用**BMC**算法，通过使用**assume**关键字限定模型检测工具检查特定指令的功能，目前其能够完成30步展开内的验证工作，并发现了**NutShell处理器**的多处功能实现与指令集手册不一致，主要集中与特权指令集实现部分，如MRET指令连续执行的权限检测缺失：

反例波形

Waves

```
Time
backend_wbu_checker_io_instCommit_valid_REG = 0
backend_wbu_checker_io_instCommit_inst_REG[63:0] = 0000000030200073
backend_wbu_checker_io_instCommit_pc_REG[63:0] = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_86 = 0
backend_wbu_checker_REG_87 = 1
backend_wbu_checker_REG_88 = 0
backend_wbu_checker_REG_89 = 1
backend_wbu_checker_REG_90 = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_91[63:0] = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_92[63:0] = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_93[63:0] = 0000000000000002
backend_wbu_checker_REG_94[63:0] = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_95[63:0] = 0000000000000000
backend_wbu_checker_REG_96[63:0] = 0000000030200073
backend_wbu_checker_REG_97[63:0] = 0000000000000000
```

第N条指令	指令	特权级	mstatus.mpp	参考模型	NutShell
0	/	M	M	/	/
1	MRET	M	U	执行	执行
2	MRET	U	U	执行	执行
3	MRET	U	U	权限异常	执行

指令执行结果对比