

第五讲物理内存管理: 非连续内存分配

第 6 节 RISC-V 页映射机制

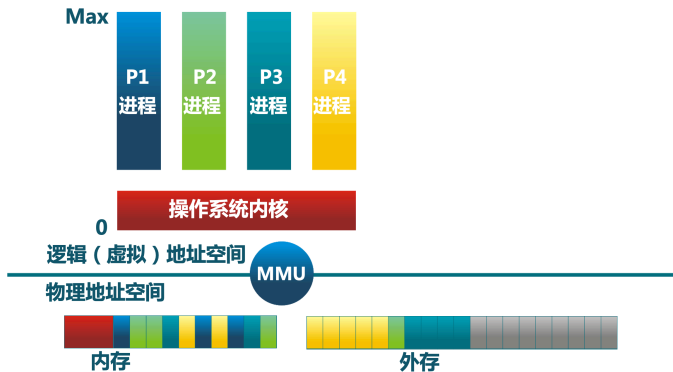
向勇、陈渝

清华大学计算机系

xyong,yuchen@tsinghua.edu.cn

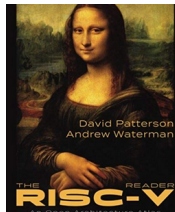
2020 年 5 月 5 日

回顾



• 通过页表来实现隔离与共享

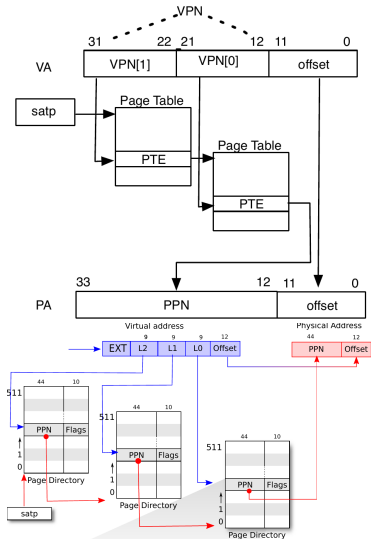
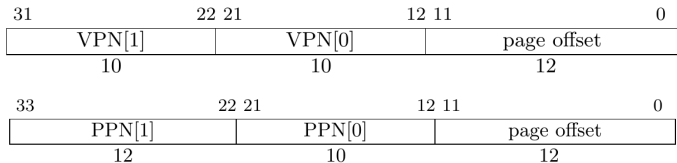
- 运行的应用程序之间的隔离与共享
- 应用与内核之间的隔离与共享
- 便于非连续内存管理
- RISC-V Privileged Architecture Version 1.10 (RV32/64)
- The RISC-V Reader 第 10.6 节



RISC-V 页映射机制

- RISC-V 对页表的硬件支持

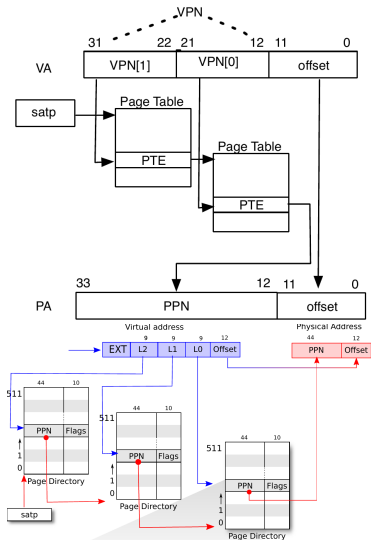
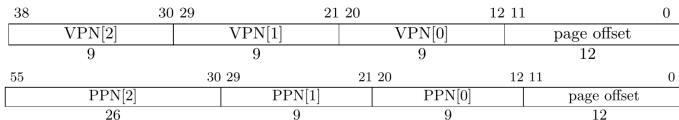
- RISC-V 32 的 Sv32 虚地址与物理地址



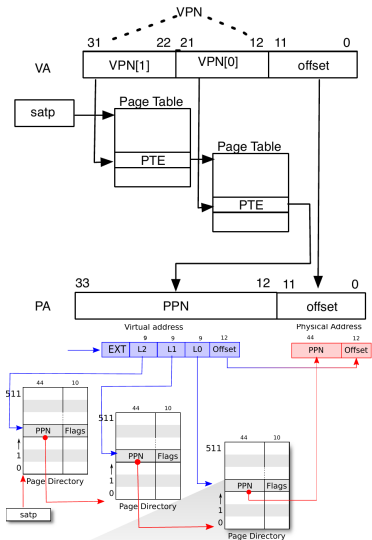
RISC-V 页映射机制

- RISC-V 对页表的硬件支持

- RISC-V 64 的 Sv39 虚地址与物理地址

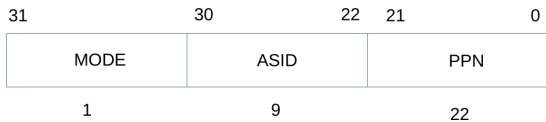


RISC-V 页映射机制



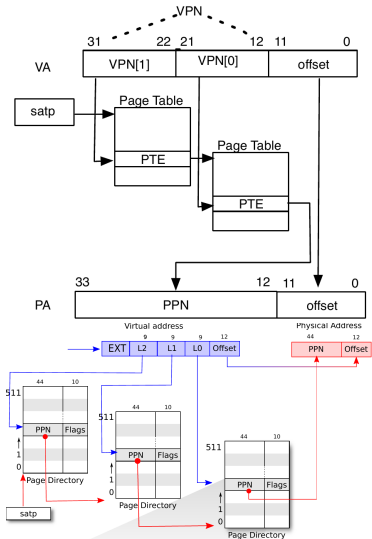
• RISC-V 对页表的硬件支持

- 页表基址：satp in RISC-V 32
- Supervisor Address Translation and Protection (satp) Register



RV32 Supervisor address translation and protection register satp

RISC-V 页映射机制



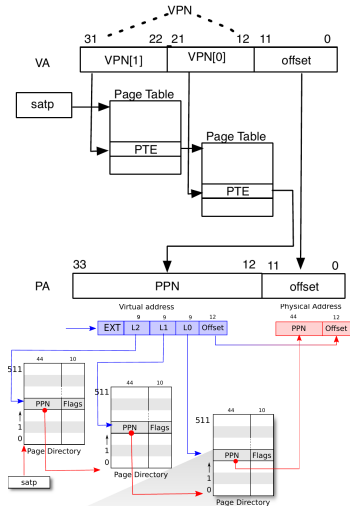
• RISC-V 对页表的硬件支持

- 页表基址: satp in RISC-V 64
- Supervisor Address Translation and Protection (satp) Register



RV64 Supervisor address translation and protection register satp

RISC-V 页映射机制



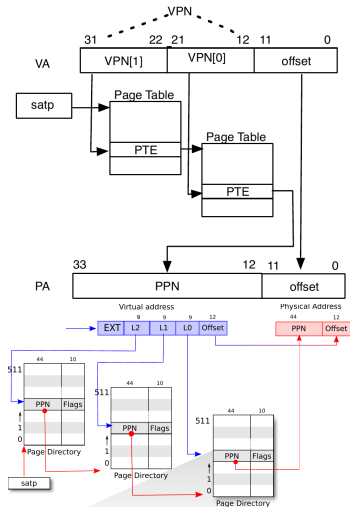
• RISC-V 对页表的硬件支持

- 页表基址: `satp` in RV32/64
- Supervisor Address Translation and Protection (`satp`) Register

RV32		
Value	Name	Description
0	Bare	No translation or protection.
1	Sv32	Page-based 32-bit virtual addressing.

RV64		
Value	Name	Description
0	Bare	No translation or protection.
1-7	—	<i>Reserved</i>
8	Sv39	Page-based 39-bit virtual addressing.
9	Sv48	Page-based 48-bit virtual addressing.
10	<i>Sv57</i>	<i>Reserved for page-based 57-bit virtual addressing.</i>
11	<i>Sv64</i>	<i>Reserved for page-based 64-bit virtual addressing.</i>
12-15	—	<i>Reserved</i>

RISC-V 页映射机制

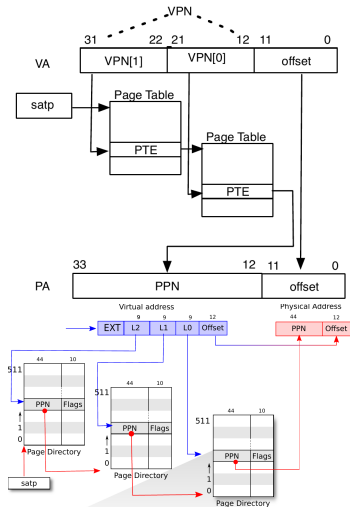


• RISC-V 对页表的硬件支持

- 地址保护
- 页表项 (page table entry)

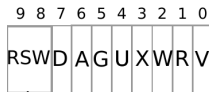
X	W	R	Meaning
0	0	0	Pointer to next level of page table.
0	0	1	Read-only page.
0	1	0	<i>Reserved for future use.</i>
0	1	1	Read-write page.
1	0	0	Execute-only page.
1	0	1	Read-execute page.
1	1	0	<i>Reserved for future use.</i>
1	1	1	Read-write-execute page.

RISC-V 页映射机制



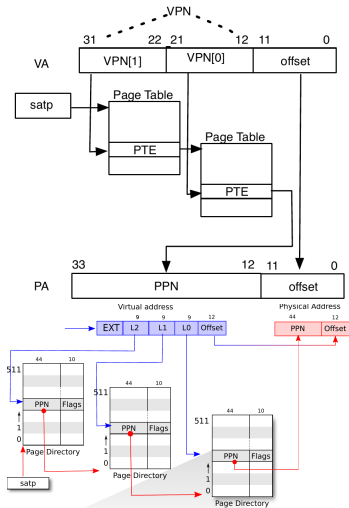
• RISC-V 对页表的硬件支持

- 地址保护
- 页表项 (page table entry)



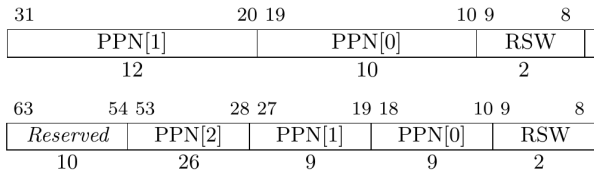
- V - Valid
- R - Readable
- W - Writable
- X - Executable
- U - User
- G - Global
- A - Accessed
- D - Dirty (0 in page directory)
- Reserved for supervisor software

RISC-V 页映射机制

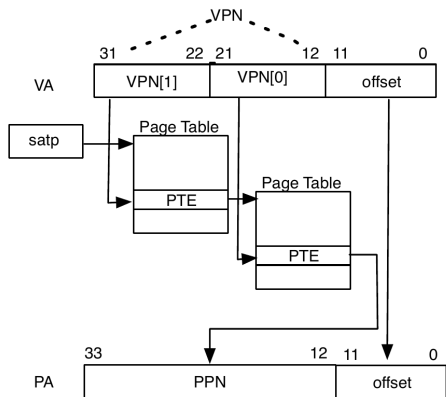


- RISC-V 对页表的硬件支持

- 地址保护
- 页表项 (page table entry)



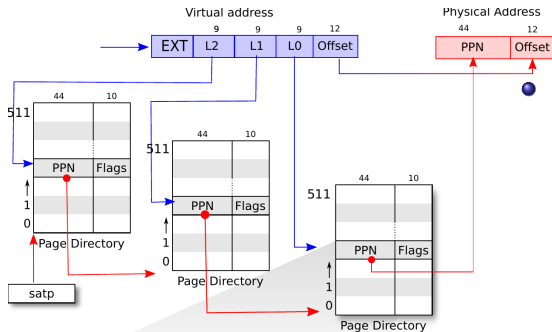
RISC-V 地址转换



- Sv32 in RV32

- 当在 $satp$ 寄存器中启用了分页时, 虚拟地址映射启动。
- 1. $satp.PPN$ 给出一级页表基址, $VA[31:22]$ $VPN[1]$ 给出一级页号, CPU 会读取位于地址 $(satp.PPN \times 4096 + VA[31:22] \times 4)$ 的页表项。
- 2. 该 PTE 包含二级页表的基址, $VA[21:12]$ 给出二级页号, CPU 读取位于地址 $(PTE.PPN \times 4096 + VA[21:12] \times 4)$ 的叶节点页表项。
- 3. 叶节点页表项的 PPN 字段和页内偏移 (原始虚址的最低 12 个有效位) 组成了最终结果: 物理地址就是 $(LeafPTE.PPN \times 4096 + VA[11:0])$

RISC-V 地址转换



• Sv39 in RV64

- 地址映射要计算三次
- $(\text{satp.PPN} \times 4K + \text{L2} \times 8)$ 的页目录项
- $(\text{PTE.PPN} \times 4K + \text{L1} \times 8)$ 的二级页目录项
- $(\text{LeafPTE.PPN} \times 4K + \text{L0} \times 8)$ 叶节点页表项
- 叶节点页表项的 PPN 字段 $\times 4K + \text{Offset}$

第五讲物理内存管理: 非连续内存分配

第 7 节使能 RISC-V 页表

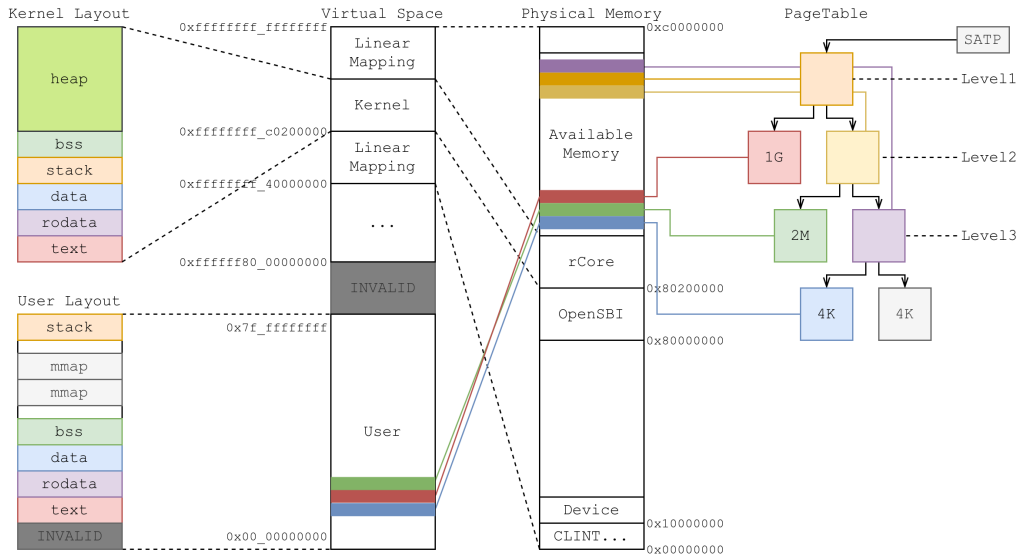
向勇、陈渝

清华大学计算机系

xyong,yuchen@tsinghua.edu.cn

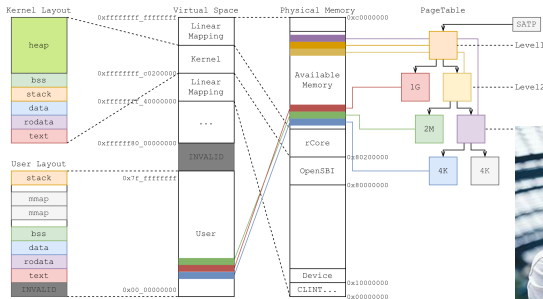
2020 年 5 月 5 日

使能 RISC-V 页表



OS 配置页表的流程

- 为页表分配物理内存
- 确定映射的物理空间与虚拟空间
- 创建页表
- 设置 satp, 刷新 TLB, 使能页表



Talk is cheap. Show me the code.

(Linus Torvalds)