计算机组成与体系结构（H）实验报告

Lab8&9【异常】

学生姓名：　陈乐屿

学　　号：　22307130104

专　　业：　计算机科学与技术

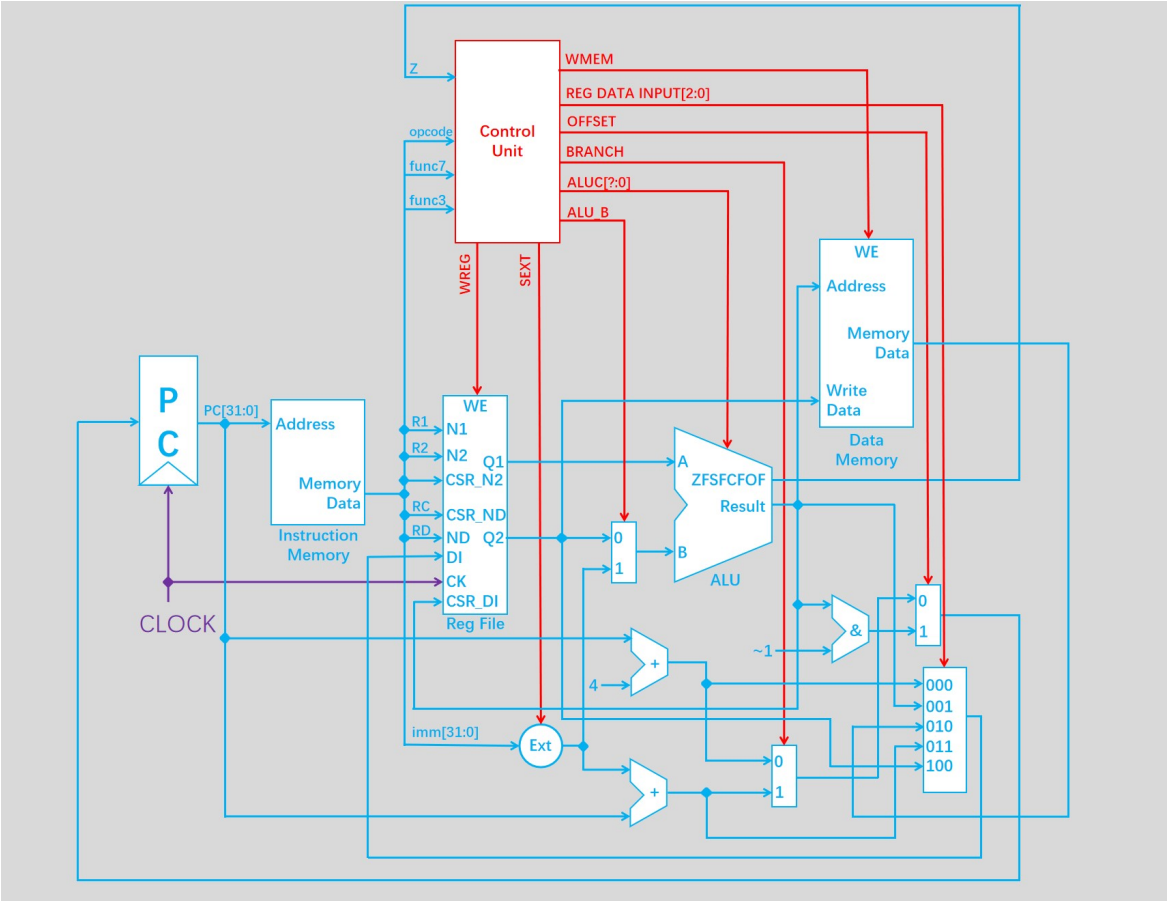
一、 实验目的

在前7次实验的可实现64位RISC-V指令功能的5级流水线CPU的基础上，添加CSR与异常指令，以支持运行操作系统，并上板。

二、 实验内容

2.1 电路图

根据新添加的CSR与异常指令，重新绘制CPU的电路图如下（因为是在单周期CUP的电路图的基础上进行修改，所以省略了各级流水线寄存器）：



2.2 寄存器模块

主要修改的地方是寄存器模块，包括其在F阶段、E阶段与W阶段的行为。下面以csrrc与mret指令为例。

csrrc rd, csr, rs1　　t = CSRs[csr]; CSRs[csr] = t &~x[rs1]; x[rd] = t

读后清除控制状态寄存器 *(Control and Status Register Read and Clear)*. I-type, RV32I and RV64I.

记控制状态寄存器 *csr* 中的值为 *t*。把 *t* 和寄存器 x[*rs1*]按位与的结果写入 *csr*，再把 *t* 写入 x[*rd*]。

31 20	19 15	14 12	11 7	6 0
csr	rs1	011	rd	1110011

执行 mret 指令时，进行以下操作：

- `pc <- mepc`
- `mstatus.mie <- mstatus.mpie`
- `mstatus.mpie = 1'b1`
- `mstatus.mpp <- 2'b0`
- 清除流水线。取消当周期发起的 dreq.valid。已发起的 dreq 保留，等到 data_ok 后再清除流水线。

在F阶段，mret需要修改pc值，由于CSR相关指令操作时需要清空流水线，因此无需考虑控制冒险，让指令自然流入到E阶段计算新pc值即可。另外，每一条CSR相关指令都需要独占流水线，所以需要阻塞F阶段直到CSR相关指令被提交。

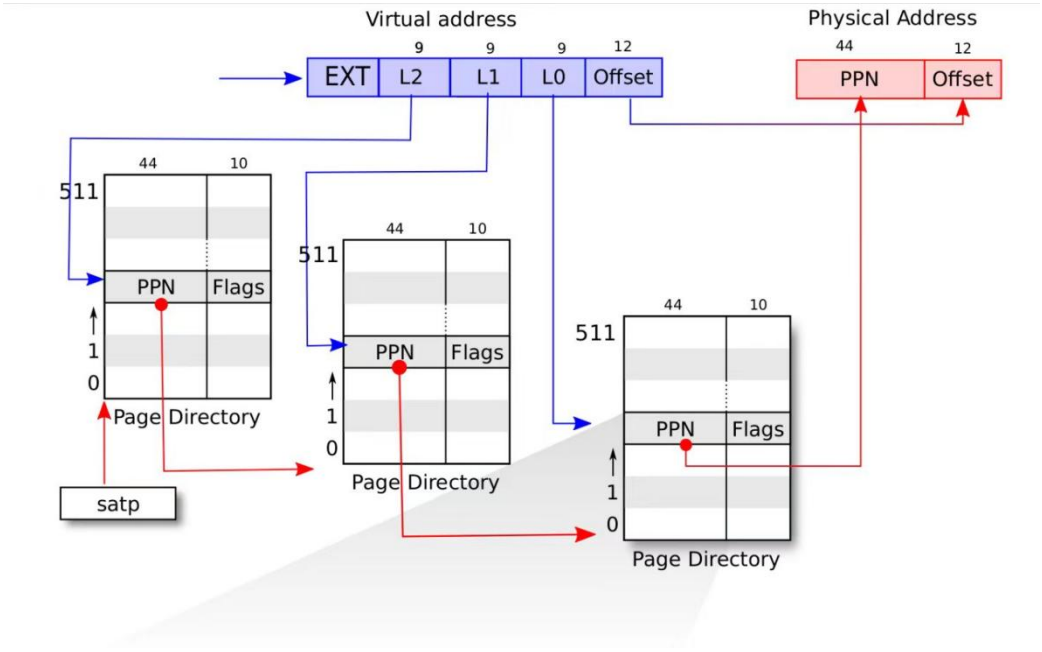
在E阶段，csrrc需要读取x[rs1]与CSRs[csr]的内容，并输入到ALU中进行计算；mret需要读取CSRs[mepc]的内容，并用于更新PC值。

在W阶段，csrrc需要同时对x[rd]与CSRs[csr]进行写入；mret需要对CSRs[mstatus]进行写入。因此，在寄存器模块上设置2个写入口，分别用于普通寄存器与CSR的写入。另外，对于mret和ecall两个指令，由于CSR相关指令操作时需要清空流水线，因此无需考虑数据冒险，又因这两个指令不需要进行运算，所以可以直接在寄存器模块内部进行CSR的数据转移。

2.3 访存模块

因为引入了虚拟地址，因此访存模块也需要进行一定的修改，包括其在F阶段与M阶段的行为。

在判断是否需要地址翻译时，需要同时检查mode与satp寄存器（并且不需要考虑数据冒险，方便了代码的设计）。当mode!=3且satp.mode(即satp[63:60])==8时，虚拟地址≠物理地址，需要从虚拟地址和satp的内容出发，进行3次额外访存来获得物理地址。额外访存可以通过在状态机上简单增加若干分支状态来实现，当需要进行地址翻译时就依次进入这些状态。



除第一次访存外，每次访存需要用前一次访存得到的数据（页表项中存放的物理地址）计算出本次访存的物理地址。

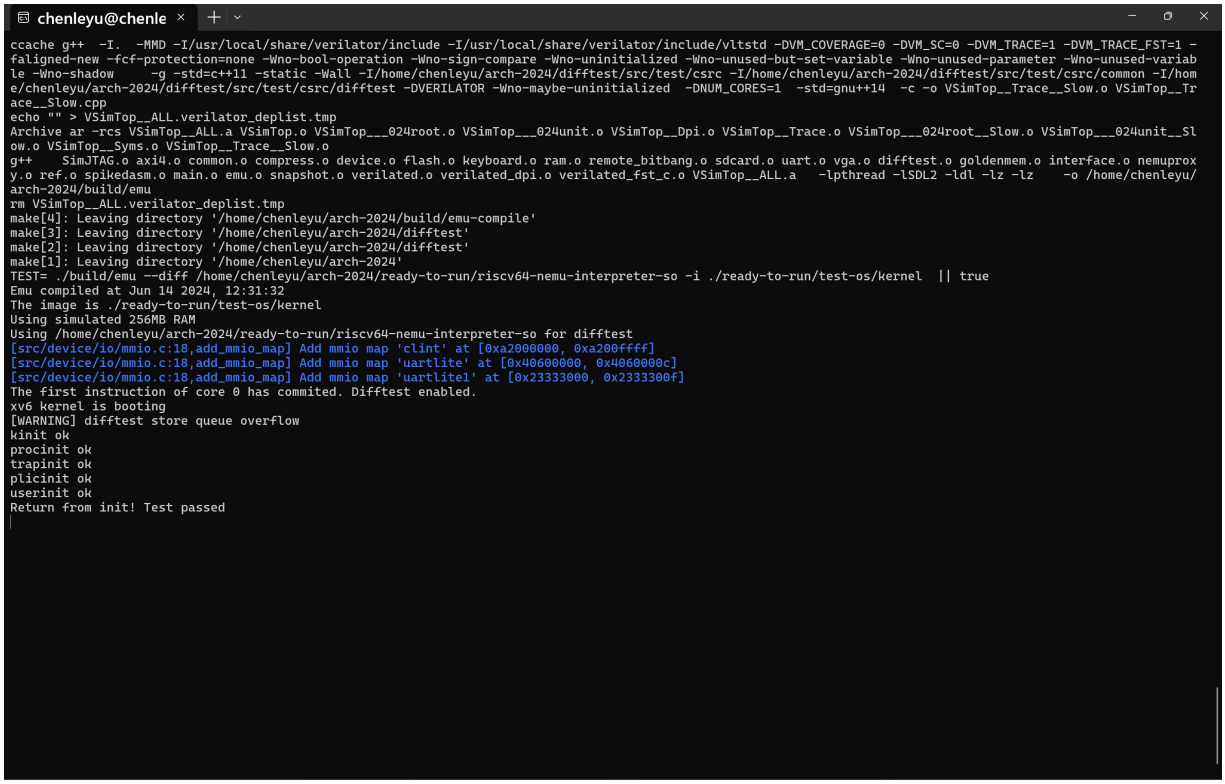
由于需要用到64位的数据，且ibus只能返回32位的数据（因为指令只有32位），因此即使是F阶段也必须要用dbus得到指令的物理地址后再通过ibus得到指令数据。

在我原本的程序中，F阶段与M阶段分别写在两个always_ff块中，分别调用ibus与dbus。因为F阶段也需要调用dbus，所以dreq存在多驱动问题，因此需要把F阶段与M阶段合成写在同一个always_ff块中。

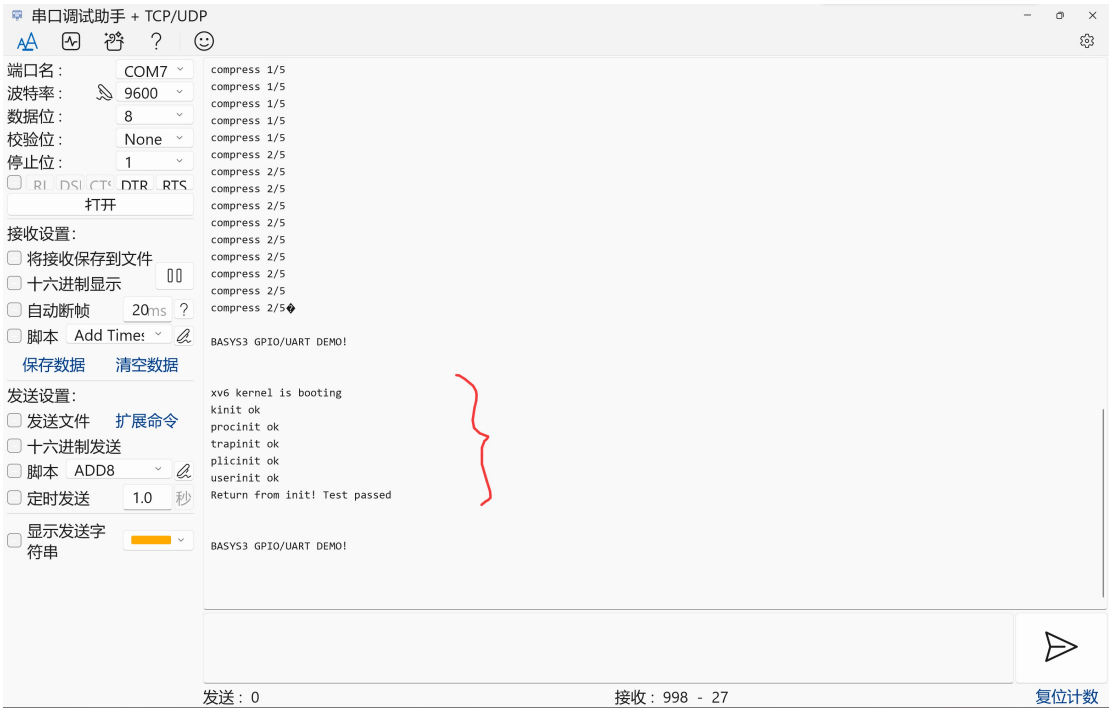
在原本的写法中，F与M阶段是2个状态机。在所有阶段都解除阻塞后，它们从空闲状态进入准备状态。M阶段会先判断是否拉起dbus请求，F阶段会等待M阶段结束dbus请求(不拉起请求，或dresp.ok==1)后再拉起ibus请求。当获取到数据并存储完毕后，就进入空闲状态。

在新的写法中，F与M阶段合成为1个状态机。所有阶段都解除阻塞后，从空闲状态进入M阶段的准备状态，M阶段的工作完成后进入F阶段，最后回到空闲状态。需要特别注意的是，F阶段存在气泡状态，因此需要设一个信号来记录：M阶段结束后，是进入F阶段的准备状态，还是进入F阶段的某个气泡状态。

三、 仿真测试(verilator)



四、 上板测试



前面的输出是在顺便测试test-cpu

五、 建议与期待

一个学期的lab总算是画上了圆满的句号。陈老师学期初所说“这个学期要在CPU上跑操作系统”，当初还觉得是天方夜谭，但是在老师与助教的一步步引导下，我们也总算是克服了各种困难，真的在自己手搓的简陋的CPU上跑通了testos，虽然过程很痛苦，但是最后完成的时候还是很有成就感的。感谢陈老师深入浅出又充满风趣的教学，感谢助教学长学姐们辛苦设计的lab与悉心的指导，这一个学期的学习令我收获颇丰！