

体系结构实验四实验报告

PB18000221 袁一玮

1 实验目标

- 实现 BTB (Branch Target Buffer)
- 实现 BHT (Branch History Table)

2 实验环境

Vivado 2019, Windows 10, VS Code, Python3

3 实验内容

3.1 BTB

Branch Target Buffer 包含了跳转指令的 PC、目标 PC 和有效位

```
assign predicted_valid = (branch_PC[PCF_Map] == PC_F) ? 1'b1 : 1'b0;  
assign predicted_PC = (predicted_valid) ? target_PC[PCF_Map] : 32'b0;
```

如果 PC_F_pos 对应的 PC 记录与 IF 的相同, 那么就预测跳转, 输出跳转的值

在 EX 段冲突的时候更新 Buffer 里的记录

```
if (rst) begin  
    for (integer i = 0; i < BTB_LEN; i++) begin
```

```

        branch_PC[i] <= 32'b0;
        target_PC[i] <= 32'b0;
    end
end
else begin
    if ((br_type_E != `NOBRANCH) & branch_E) begin
        branch_PC[PCE_Map] <= PC_E;
        target_PC[PCE_Map] <= target_E;
    end
end
end

```

同时, EX 段需要更新, ID 段也需要去传递是否跳转 (branch_E)、跳转目标 (target_PC) 的信号

在 Predictor 中, 如果预测成功, predicted_valid_IF 即为 1, NPC 即为预测的跳转到的 PC; 若预测失败:

```

assign predicted_EX_error = (branch_E & ~predicted_valid_EX)
    | (~branch_E & predicted_valid_EX)
    | (branch_E & predicted_valid_EX & (target_E != predicted_PC_EX));

```

实际跳转、预测不跳转, 实际不跳转、预测跳转, 即会出现预测失败, predicted_EX_error 为 1, 需要在 HarzardUnit 中刷新流水线 if (predicted_EX_error) {FlushD, FlushE} <= 2'b11;

之后要在 NPC 中修改: 如果跳转且预测, NPC 就取跳转 PC, 否则就是 PC_EX

```

if (BranchE & predicted_EX_error) PC_In <= BranchTarget;
else if (~BranchE & predicted_EX_error) PC_In <= PC_EX;

```

3.2 BHT

类似 BTB, 加入了 2bit 的 State 和 FSM, 但是不需要记录 target_PC Buffer

```

if (br_type_E != `NOBRANCH) begin
    branch_PC[PCE_Map] <= PC_E;

```

```

if (branch_E) begin
    case(state[PCE_Map])
        2'b00: state[PCE_Map] <= 2'b01;
        2'b01: state[PCE_Map] <= 2'b10;
        2'b10: state[PCE_Map] <= 2'b11;
        2'b11: state[PCE_Map] <= 2'b11;
    endcase
end
else begin
    case(state[PCE_Map])
        2'b00: state[PCE_Map] <= 2'b00;
        2'b01: state[PCE_Map] <= 2'b00;
        2'b10: state[PCE_Map] <= 2'b01;
        2'b11: state[PCE_Map] <= 2'b10;
    endcase
end
end
end

```

4 实验结果

使用 BHT 预测快速排序的输出结果，7 号寄存器符合预期行为

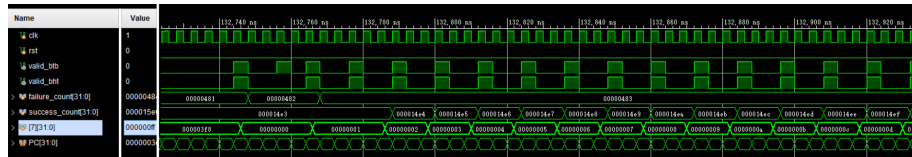


图 1: qsort-start

使用 BHT 预测矩阵相乘的输出结果，同样 7 号寄存器符合预期行为

5 结果分析

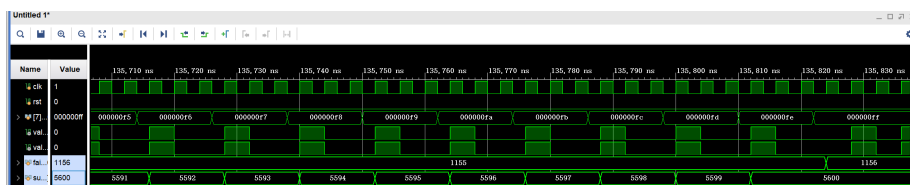


图 2: qsort-end

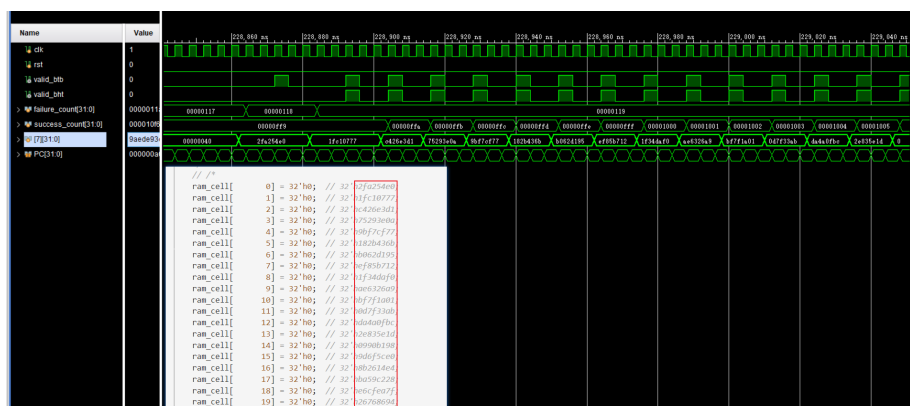


图 3: matrix-start

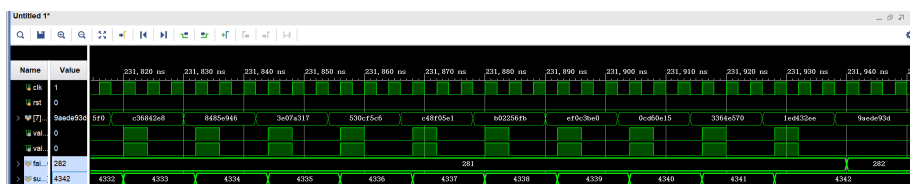


图 4: matrix-end

5.1 分析分支收益和分支代价

若不进行分支预测，分支在 EX 段时总是 flush

因为分支预测成功时不需要 flush，可以减少 2 个周期，而预测失败则无代价

5.2 统计未使用分支预测和使用分支预测的总周期数

样例	静态预测	BHT 预测
BTB	511	317
BHT	537	369
QuickSort (256)	42792	33427
MatMul (16)	64840	57182

5.3 统计分支指令数目、动态分支预测正确次数和错误次数

样例	分支	静态预测-正确/错误	BHT-正确/错误
BTB	101	1/100	98/3
BHT	110	99/11	95/15
QuickSort (256)	6756	4923/1833	5600/1156
MatMul (16)	4368	273/4095	4089/279

5.4 对比不同策略

加入 BHT 策略效果比静态预测要好

- 对于循环结构来说，静态预测不跳转只能正确预测最后一次执行的情况，对于循环中之前的跳转，总是会预测错误

但是在 btb 测试中 BHT 策略比 BTB (1bit) 却略差一些

- btb 测试中只有一层循环，BTB 已经足够了，除了首尾两次预测失败以外，其他情况下都是成功的

- 于此同时 BHT 策略要错误两次之后才会变化预测

而对快排来说，BHT 对执行周期数带来的改善不大：

- 没有实现 jal/jalr 的跳转记录
- 跳转指令只是程序一部分，对程序速度的提高有限