哈爾濱工業大學（深圳）
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

实验报告

开课学期：2021 春季

课程名称：计算机体系结构(实验)

实验名称：分支预测器设计

实验性质：综合设计型

实验时间：6 地点：T2210

学生班级：2018 级计算机 5 班

学生学号：180110505

学生姓名：胡聪

评阅教师：

报告成绩：

实验与创新实践教育中心印制

2021 年 4 月

1. 实验内容

本实验将基于Pin插桩分析的工作机理，使用C/C++实现分支预测器的软件模型，从而在进一步熟悉插桩工具使用的同时，加深对分支预测原理的理解。

设计锦标赛分支预测器；

至少使用2种动态分支预测方法；

只需预测分支跳转方向，不需预测分支目标地址。

2. 设计与实现

2.1 题目分析

BHT——Branch History Table，用于记录分支历史信息的表格，用于判断一条分支指令是否token，记录跳转信息。简单的BHT只需要用1bit位进行记录，但是这样记录还不够准确，所以一般使用2bit位进行记录，预测时，用分支指令的地址查BHT，获得相应的饱和计数器值。若饱和计数器的最高位为1，预测分支跳转，否则预测分支不跳转。当分支指令的实际跳转方向被确定时，不管预测是否正确，都对BHT中的饱和计数器进行更新，从而达到动态调整分支预测结果的目的。

基于BHT的分支预测方法忽视了分支指令之间的关联性。为此，基于全局历史的分支预测方法在BHT的基础上增加了GHR（Global History Register，全局历史寄存器）来将所有分支指令关联起来。

基于全局历史的分支预测方法使用一个k比特的GHR来记录所有最近k条分支指令的历史跳转方向，并使用PHT（Pattern History Table，模式历史表）来记录各分支指令的分支历史。其中，PHT的结构类似于BHT。

预测时，首先将分支指令的地址和GHR进行异或，再用异或操作的结果来查PHT，然后根据PHT当前行的分支历史和分支目标地址，对该分支指令的分支跳转方向和分支目标地址进行预测。

基于局部选择历史的选择方法使用LSHT（Local Selection History Table，局部选择历史表）来记录子预测器预测结果的历史选择情况。

LSHT一般具有4096条记录，每条记录均包含Tag和局部选择历史2个字段。其中，Tag字段是分支指令地址的一部分，局部选择历史字段则是2bit的饱和技术器，其作用等同于GSHR。

预测时，先取分支指令的地址查LSHT，得到相应的选择历史LSHT[i]。若LSHT[i]的最高位为0，则输出子预测器1的预测结果；否则输出子预测器2的预测结果。当分支指令的实际跳转行为被确定时，需要同时对子预测器和LSHT[i]进行更新。对于子预测器，根据分支指令的实际跳转行为和锦标赛预测结果等信息，使用子预测器自身的更新策略进行更新。

2.2 实验过程

```
// Pin calls this function every time a new instruction is encountered
void Instruction(INS ins, void *v)
{
    if (INS_IsControlFlow(ins) && INS_HasFallThrough(ins))
    {
        INS_InsertCall(ins, IPOINT_TAKEN_BRANCH, (AFUNPTR)predictBranch,
                       IARG_INST_PTR, IARG_BOOL, TRUE, IARG_END);

        INS_InsertCall(ins, IPOINT_AFTER, (AFUNPTR)predictBranch,
                       IARG_INST_PTR, IARG_BOOL, FALSE, IARG_END);
    }
}
```

在已经给定的实验框架中，搭建好了Pin插桩的指令代码框架，这部分代码从目标程序中选择控制流指令，然后在分支成功处和失败处插入分析代码。分析代码获取分支指令地址，调用分支预测器模型进行分支预测，并且记录模型的预测结果数据。

BHT：预测时，使用分支指令地址查询BHT，获得相应的饱和计数器值。最高位为1则分支跳转，否则不跳转。当跳转方向确定，无论预测是否正确，均对饱和计数器进行更新，实现动态调整分支预测结果。

GHR：预测时，首先将分支指令的地址和GHR进行异或，再用异或操作的结果来查PHT，然后根据PHT当前行的分支历史和分支目标地址，对该分支指令的分支跳转方向和分支目标地址进行预测。指令跳转时：

```
    BOOL predict(ADDRINT addr)
    {
        UINT64 tag = cut(addr ^ GHR.getVal(), L);
        return bhist[tag].isTaken();
    }
```

锦标赛预测分支，基于局部选择历史的选择方法：

```
BOOL predict(ADDRINT addr)
    {
        if (!GSHR.isTaken())
        {
            return BPs[0]->predict(addr);
        }
        else
        {
            return BPs[1]->predict(addr);
        }
    }
```

2.3 实验结果及分析

BHT

```
runspec finished at Thu May 20 16:52:02 2021; 26 total seconds elapsed
takenCorrect: 172951802
takenIncorrect: 12036890
notTakenCorrect: 277281557
nnotTakenIncorrect: 12791123
Precision: 94.7737
```

```
runspec finished at Thu May 20 16:53:26 2021; 26 total seconds elapsed
takenCorrect: 170144442
takenIncorrect: 11944651
notTakenCorrect: 275147878
nnotTakenIncorrect: 12725185
Precision: 94.7507
```

```
runspec finished at Thu May 20 16:54:29 2021; 23 total seconds elapsed
takenCorrect: 179655439
takenIncorrect: 12313688
notTakenCorrect: 287292139
nnotTakenIncorrect: 13096879
Precision: 94.839
```

```
runspec finished at Thu May 20 16:56:08 2021; 23 total seconds elapsed
takenCorrect: 180290618
takenIncorrect: 12379570
notTakenCorrect: 288923529
nnotTakenIncorrect: 13139232
Precision: 94.8419
```

GHR

```
runspec finished at Thu May 20 16:58:05 2021; 26 total seconds elapsed
takenCorrect: 180870962
takenIncorrect: 7192836
notTakenCorrect: 283815524
nnotTakenIncorrect: 7399047
Precision: 96.9554
```

```
runspec finished at Thu May 20 16:59:29 2021; 25 total seconds elapsed
takenCorrect: 175595353
takenIncorrect: 7108621
notTakenCorrect: 280239863
nnotTakenIncorrect: 7428918
Precision: 96.9094
```

```
runspec finished at Thu May 20 17:01:12 2021; 23 total seconds elapsed
takenCorrect: 186347459
takenIncorrect: 7338089
notTakenCorrect: 293538777
nnotTakenIncorrect: 7743484
Precision: 96.953
```

```
runspec finished at Thu May 20 17:02:38 2021; 24 total seconds elapsed
takenCorrect: 187847766
takenIncorrect: 7362034
notTakenCorrect: 296082102
nnotTakenIncorrect: 7642188
Precision: 96.9927
```

锦标赛

```
runspec finished at Thu May 20 17:04:10 2021; 46 total seconds elapsed
takenCorrect: 181078756
takenIncorrect: 7174457
notTakenCorrect: 283802830
nnotTakenIncorrect: 7173675
Precision: 97.006
```

```
runspec finished at Thu May 20 17:05:54 2021; 44 total seconds elapsed
takenCorrect: 175752824
takenIncorrect: 6977484
notTakenCorrect: 280363087
nnotTakenIncorrect: 7272794
Precision: 96.9704
```

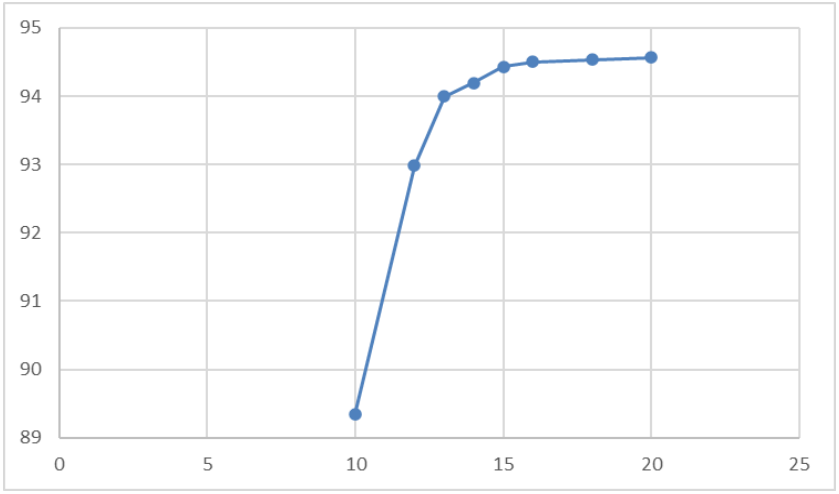
```
runspec finished at Thu May 20 17:07:47 2021; 43 total seconds elapsed
takenCorrect: 186702422
takenIncorrect: 7216386
notTakenCorrect: 293669634
nnotTakenIncorrect: 7406554
Precision: 97.0458
```

```
runspec finished at Thu May 20 17:09:31 2021; 44 total seconds elapsed
takenCorrect: 188046758
takenIncorrect: 7310401
notTakenCorrect: 296132959
nnotTakenIncorrect: 7429062
Precision: 97.0457
```

结果表格

	bzip2	sjeng	wrf	sphinx3
BHT 预测器	94.7737	94.7507	94.839	94.8419
GHR 预测器	96.9554	96.9094	96.953	96.9927
锦标赛预测器	97.006	96.9704	97.0458	97.0457

通过改变L的值，可以找到准确率与L值之间的关系：



通过观察最终的实验结果，对bzip2、sjeng、wrf和sphinx3算法进行测试的结果中，同一预测算法的结果大致相同，而全局分支预测器的准确率较高，锦标赛分支预测器的结果也是接近全局分支预测器的，这比较符合最初的预期。

3. 总结和感想

在本次实验过程中，首先学习了各个动态分支预测器的原理，以及各种寄存器的使用方式，通过在实验过程中对于参数的调节，一步一步慢慢改善预测算法的准确性，锻炼了自己对于问题的处理能力和调试能力。