1. 实验过程

总共实现了4个pass，全部是FunctionPass：

1. Load和Store指令优化 class LoadStoreOpt
   从根节点开始，采用DFS的方式遍历函数的支配树，当发现一条Store指令时：
   1. 目的操作数不是Alloca指令，contine;
   2. 目的操作数的Alloca类型为数组，continue;
   3. 从当前指令Inst的下一条指令开始，采用DFS的方式遍历函数的支配树：
      1. 当前block与Inst所在的block不同并且当前block的前继大于1个（pred_size > 1），本节点return;
      2. 找到一条Store指令，并且目的操作数与Inst的目的操作数一致，本节点return;
      3. 找到一条Load指令，并且源操作数与Inst目的操作数一致，将Load指令之后所有的用法用Inst的源操作数替换（replaceAllUsesWith），然后将该Load指令删除。
2. 常量折叠 class ConstantFolding
   从根节点开始，采用DFS的方式遍历函数的支配树，从而遍历函数的所有指令：
   1. 指令Inst的opCode是二元操作符，lhs和rhs均为常数，则通过ConstantExpr::get(opCode, const1, const2)获得运算结果res，将该指令之后所有的用法用res替换，将Inst删除;
   2. 指令的Inst的opCode是比较运算符FCmp或者ICmp，并且lsh和rhs均为常数，则通过ConstantExpr::getFCmp(predicate, const1, const2)或者ConstantExpr::getICmp(predicate, const1, const2)获得计算结果res，将该指令之后所有的用法用res替换，将Inst删除;
3. 死代码消除 class DeadCodeElimination

   有两个部分：
   1. 移除无用Alloca指令
      遍历函数的entryBlock的所有Alloca指令，如果该指令的用法中没有Load，则将该指令的用法全部删除，然后将该指令删除
   2. 移除其他无用指令
      遍历函数的所有指令：
      1. 如果指令至少有一个用法，continue;
      2. 指令为RetInst/BrInst/CallInst/StoreInst，continue;
      3. 删除该指令

   不断地运用1. 移除无用Alloca指令和2. 移除其他无用指令，直到函数不再变化。
4. 分支优化 class BranchOpt
   有四个部分：
   1. phi指令优化
      遍历F的所有phi指令，如果phi指令中所有BasicBlock不是nullptr (<badref>) 的Value都是相同的，则将phi指令之后所有的用法都用该Value替换，该phi指令删除
   2. 有条件跳转指令优化
      遍历函数的所有有条件跳转指令（brInst.isConditional()）：
      1. 条件不为常量，continue;
      2. 将brInst改为为无条件跳转指令
         1. 条件为真，跳转至brInst→getSuccessor(0)，如果brInst->getSuccessor(1)的第一条指令为phi指令，则phiInst-

>removeIncomingValue(brInst→getParent());
2. 条件为假，跳转至brInst→getSuccessor(1)，如果brInst->getSuccessor(0)的第一条指令为phi指令，则phiInst->removeIncomingValue(brInst→getParent());

3. 无用BasicBlock删除
   遍历函数的所有BasicBlock，如果block的前继数量为0（pred_empty(block)为真），则将该block删除，将block所有的后继phi指令用法设置为nullptr，block->replaceSuccessorsPhiUsesWith(nullptr);

4. 无条件跳转指令优化
   遍历函数的所有无条件跳转指令(brInst.isUnConditional())，如果跳转目标的前继数量为1，则将跳转目标的所有指令全部复制到brInst所在的block，将该brInst删除，将跳转目标的后继phi指令用法设置为nullptr，将跳转目标删除。

不断的运用1. phi指令优化、2. 有条件跳转指令优化、3. 无用BasicBlock删除、4. 无条件跳转指令优化，直到函数F不再发生变化，一般3.和4.后面要紧跟着1.

最终，pass的执行顺序为 DeadCodeElimination → LoadStoreOpt → ConstantFolding -> LoadStoreOpt → ConstantFolding → DeadCodeElimination → BranchOpt

2. 遇到的难点及解决方法

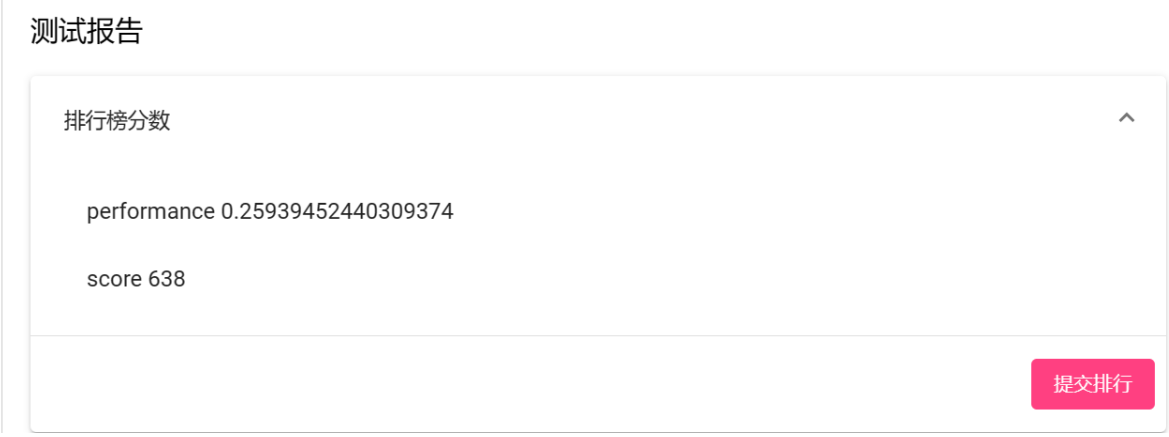
上述4个pass的实现逻辑都是挺简单的，并且Load和Store指令优化采用的也是比较保守的方法，我也没有系统地使用数据流分析。

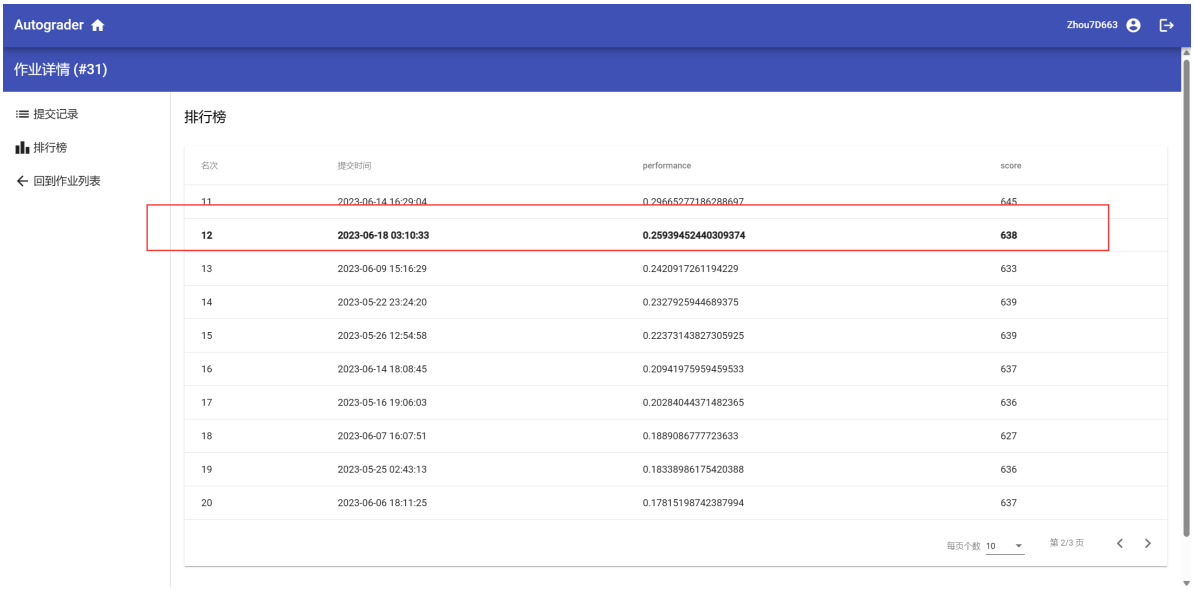
本次实验遇到的最大的困难就是在BranchOpt中，删除无用BasicBlock和删除跳转目标后phi指令出现<badref>，block被删除了，但是phi指令中对应的block指针不是nullptr，而是一个地址，因此使用getInComingBlock(i) == nullptr来判断<badref>不行，后来在IDE中搜索replace时突然发现了replaceSuccessorsPhiUsesWith()这个函数，block被删除前调用该函数，传入参数nullptr，那么phi指令中所有的<badref>都是nullptr了。

3. 成绩

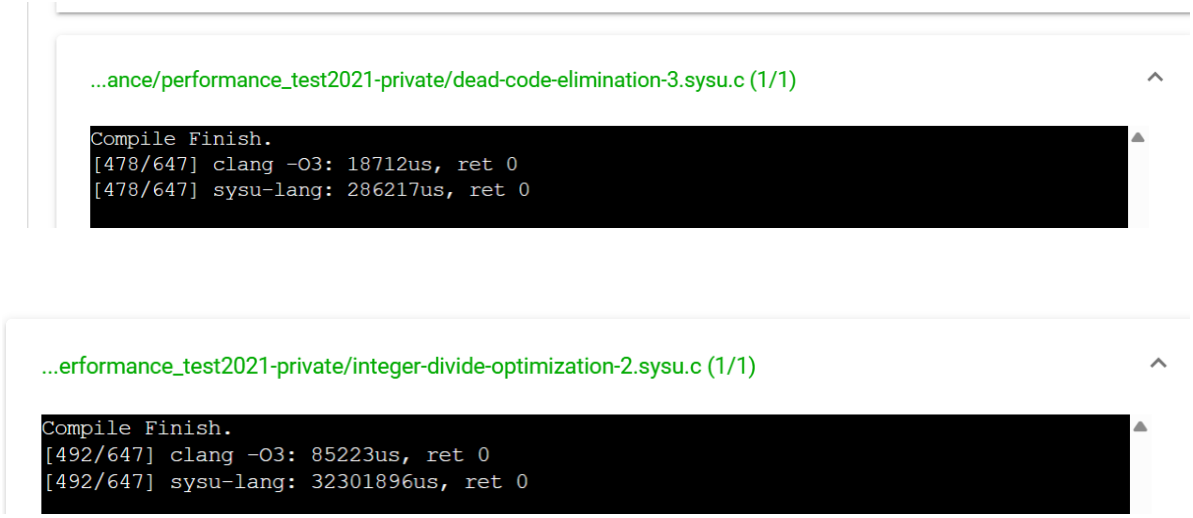
相比于实验3，性能分从0.169提升到了0.259，通过的算例从634增加到了638。

我发现，LoadStoreOpt和DeadCodeEliminationOpt结合起来就可以使性能分达到0.24多，所以在本次实验中ConstantFolding和BranchOpt对代码性能的提升非常少。





dead-code-elimination-3.sysu.c和integer-divide-optimization-2.sysu.c均在时限内通过：



而integer-divide-optimization-3.sysu.c和hoist-3.sysu.c均未在时限内通过：